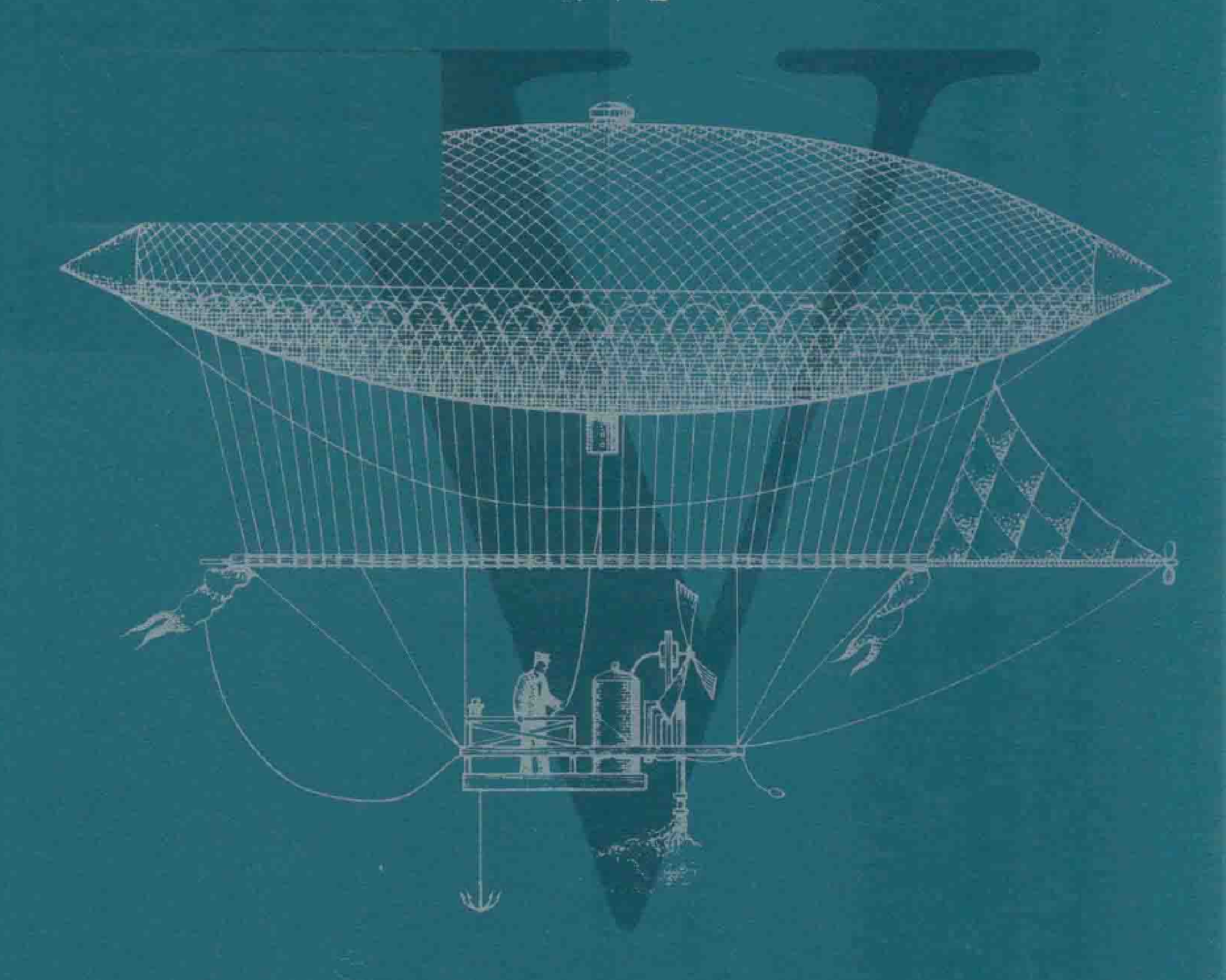
第V卷



技术史

A HISTORY OF TECHNOLOGY

主编 【英】查尔斯·辛格 E.J. 霍姆亚德 A.R. 霍尔 特雷弗·I. 威廉斯
主译 远德玉 丁云龙

19世纪下半叶

c. 1850–*c.* 1900

中国工人出版社

第 I 卷	远古至古代帝国衰落 史前至约公元前 500 年	含 36 幅图版，589 幅正文插图
第 II 卷	地中海文明与中世纪 约公元前 700 年至约公元 1500 年	含 44 幅图版，705 幅正文插图
第 III 卷	文艺复兴至工业革命 约 1500 年至约 1750 年	含 32 幅图版，439 幅正文插图
第 IV 卷	工业革命 约 1750 年至约 1850 年	含 48 幅图版，365 幅正文插图
第 V 卷	19 世纪下半叶 约 1850 年至约 1900 年	含 44 幅图版，439 幅正文插图
第 VI 卷	20 世纪 上 约 1900 年至约 1950 年	含 151 幅正文插图
第 VII 卷	20 世纪 下 约 1900 年至约 1950 年	含 329 幅正文插图
第 VIII 卷	综合索引	

这八卷著作构成了一座学识纪念碑。

《自然》(*Nature*)

这是关于技术史的明晰的、权威的资料来源。

《医学史》(*Medical History*)

对技术专家、历史学家、科学家以及普通的读者而言，这是他们学习和激发兴趣的取之不尽的源泉……作为对人类文化之技术方面的完整认识，本书是宏伟的、卓然超群的。

《物理学与技术》(*Physics and Technology*)

整部著作在可预见的未来仍将是对这一主题的最全面的处理，对任何学术图书馆或公共图书馆都是不可或缺的。

《美国历史评论》(*American Historical Review*)

万川
reflections

上架建议：科技 / 历史
ISBN 978-7-5008-7160-6

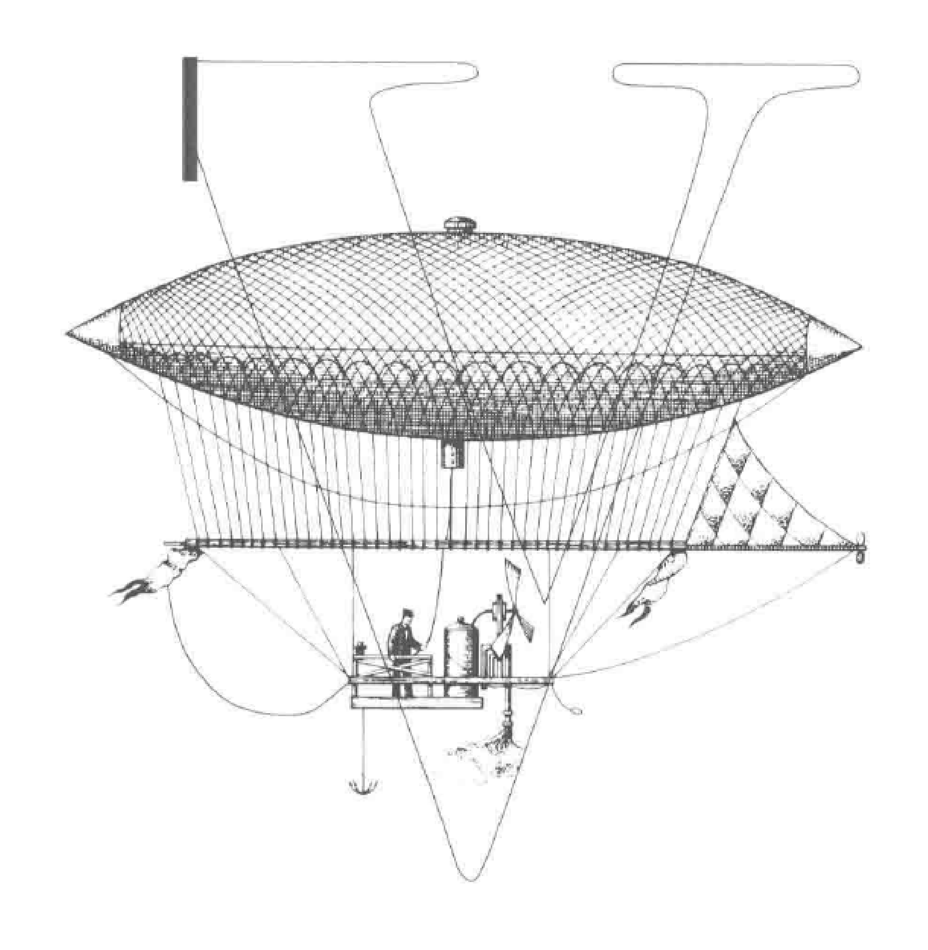
中国工人出版社微信公众号




第 V 卷



ISBN 978-7-5008-7160-6/N·15
定价：288.00 元



技术史

A HISTORY OF TECHNOLOGY

主 编　【英】查尔斯·辛格　E. J. 霍姆亚德　A. R. 霍尔　特雷弗·I. 威廉斯
主 译　远德玉　丁云龙

第Ⅴ卷

19 世纪下半叶

c. 1850–*c.* 1900

中国工人出版社

图书在版编目（CIP）数据

技术史. 第V卷，19世纪下半叶 /（英）查尔斯·辛格等主编；远德玉，丁云龙主译. — 北京：中国工人出版社，2020.9
（牛津《技术史》）
书名原文: A History of Technology
Volume V : The Late Nineteenth Century *c.* 1850 to *c.* 1900
ISBN 978-7-5008-7160-6

Ⅰ. ①技… Ⅱ. ①查… ②远… ③丁… Ⅲ. ①科学技术－技术史－世界－19世纪 Ⅳ. ①N091

中国版本图书馆CIP数据核字（2020）第128680号

技术史 第V卷：19世纪下半叶

出 版 人　王娇萍
责任编辑　李　丹
责任印制　栾征宇
出版发行　中国工人出版社
地　　址　北京市东城区鼓楼外大街45号　邮编：100120
网　　址　http://www.wp-china.com
电　　话　（010）62005043（总编室）（010）62005039（印制管理中心）
　　　　　（010）62004005（万川文化项目组）
发行热线　（010）62005996　82029051
经　　销　各地书店
印　　刷　北京盛通印刷股份有限公司
开　　本　880毫米×1230毫米　1/32
印　　张　34.625　　　插页　44
字　　数　950千字
版　　次　2021年6月第1版　2021年6月第1次印刷
定　　价　288.00元

著作权合同登记号：图字01-2018-3849

ISBN 978-7-5008-7160-6

《技术史》编译委员会

出版人
王娇萍

策　划
董　宽

特约策划
潘　涛　姜文良

统　筹
董　虹

版　权
邢　璐

责任编辑
左　鹏　邢　璐　董　虹　罗荣波
李　丹　习艳群　宋　杨　金　伟

审　校
安　静　王学良　李素素　葛忠雨　黄冰凌
李思妍　王子杰　王晨轩　李　骁　陈晓辰

特约审订
潘　涛

第V卷主要译校者

丁云龙　王友仁　王培欣　石素英　叶培正
吕　强　刘晓萍　孙宏利　孙学忠　远　航
远德玉　杨宗坤　李光伟　李会平　李兆发
李玫玫　汪桂芹　张　济　张宣平　张　敏
陆　干　陈　凡　陈　刚　陈奇志　赵学玉
赵振才　姜振寰　徐学渠　梁英教　韩学勤
樊春华　薛继学
（以姓氏笔画为序）

第Ⅴ卷前言

第Ⅴ卷涉及的内容正好是现代科学工业新纪元的开端。从一开始，主编们就很清楚地意识到，有很多原因阻碍着这部书将它的内容扩展到论述20世纪的技术史。因为如果这样做的话，所需的额外篇幅将会非常大，而且也几乎不可能用现有几卷所采用的相对非专业性的叙述方式来展现技术的最新进展。更深层次的困难还在于，技术史学——也许是所有的历史学——的本质，都建立在选择大量被证明对将来社会产生最重大影响的事实的基础之上。而从遥远的过去中进行选择与从新近一代的重大事件中进行近乎预言性的选择，完全是两回事。

出于上述原因，我们决定将这卷《技术史》写到大约19世纪与20世纪之交，这恰巧是现代陆空运输起步、重型电器行业突飞猛进、商业发报机开始发展以及新的机械电力机迅速取代统治一个世纪之久的往复式蒸汽发动机的时候。尽管那时这些进展还没有对社会产生重大的影响，但它们的技术基础（technological basis）已得到牢固确立，我们将对此进行比较详细的讨论。

新的世纪还为德国、美国以及后来的俄国在制造业和新发明方面开辟了新纪元。整个20世纪，美国和俄国皆在技术的前沿崛起，这实际上标志着两国在生产领域中从一个数量级向另一个数量级飞跃。同样，近代物理学始于1900年，对技术和科学与工业的关系产生了

巨大的影响。与来源于古老经验主义的相对落后的技术相比，人类第一次享受到抽象科学思想附带的回报，即实现对自然资源从种类到规模都完全不同的控制，而不在乎这种思想给人类生活带来的实际后果。

本卷即便在这些巨大变化开始之前就结束了论述，但也完全有可能描绘出各行各业所使用的工艺和方法的最初轮廓。其中一个原因是这些过程和方法的复杂性(complexity)要求必须有一定的篇幅给予描述，更重要的原因则是它们的科学背景和经济背景也越来越深奥。为了充分描述化学家是如何运用他们的理论洞察力去实现一个新的合成方法，以及如何使之在工业生产上成为可能；为了讨论在某一地区内为了某种特定目的而使用一种机器，在另一个地区内则使用另一种机器的原因；为了研究在这个时期各方面不断快速出现的发明创造和技术进步，皆需要我们的读者和我们自身都具有各个专业领域的综合知识，而这是任何人都无法做到的。对广泛的科学技术进行整合和诠释，并不只是我们这个时代的需要，我们希望这部《技术史》能为满足这种需要提供一些基础。

应用科学(applied science)的重要性是这一卷的一个突出主题，因为很少有制造业和生产行业的分支能够不被科学发现的成果所改变。这在新兴的工业里表现得最为明显，就像化学工业(第11章，第14章)和电力工程(第9章，第10章)中所表现的那样。在古老的工业中也有新的表现，如由于金属提炼过程中新工艺的发展，新成果的运用变得越来越重要。然而，工业对科学的依赖在某种程度上仍然还是偶然性的。在一些基础制造业中，例如钢铁工业(第3章)和造船业(第16章)，虽然也有技术上的巨大进步、劳动力的节约和生产规模的扩大，提供的产品也比从前更加适用，但是经验因素的影响仍然很大，进步来自工匠们的经验积累、企业管理的改进以及个体设计师能力的提高，而不是来自科学的洞察力(scientific insight)。很少有科学家和这样的制造联系在一起，也几乎没有人雇用这些科学家去考察本来就很少被关注的产品和工厂设计。除了科学导向这个因素，其他影响工业增长的因素都在第33章中有所

讨论。该章有意识地探讨了一个科学发现，正如在合成染料业里，偶然发现仍然扮演着一个很大的角色。在电报的历史发展过程中，人们在解决问题时对遇到的难题和解决方法的科学分析都来源于原始的基础理论。但是其他的新进展，例如内燃机（第 8 章）和飞机（第 17 章）的发展，则更多地来源于创造性的经验（creative empiricism）和坚持不懈的“试错法”（trial-and-error），而不是来源于已有的科学理论。对一项重大技术成果来说，理论可能是滞后的，而不是先导性的。

19 世纪下半叶，每一个国家的技术水准——以及由此带来的工业竞争力——都变得与该国的科学家和技师越来越直接相关，同时也和这个国家人口的平均受教育水平愈来愈相关。那些无视教育尤其是技术教育（technical education）重要性的人，必须对英国在这一时期的相对衰落负主要责任，因为民众的智力程度仍然停留在工业革命第一个阶段的水平。这对我们今天这个时代来说肯定是一个教训。科学家和技师对工业的控制范围越大，越要求迅速扩张这支队伍。因此技术教育的发展以及它与工业进步的相关性，在第 32 章中专门进行了讨论。

vii

教育的改变是科学通过工业以一般（或许是不可预料的）方式影响社会的一个例子，当然还有其他许多例子。因此，科学的应用还产生了许多新的工业上的麻烦事，就像化学工业中所出现的那样。这种放任主义态度终结的一个征兆就是政府引入法律控制——尽管因为不愿意浪费有潜在价值的原料，制造商常常也能起到与法律控制相同的作用。科学被用于解决供水和卫生（第 23 章）问题，解决食品的足量供应和贮藏问题（第 1 章，第 2 章），以及解决交通问题，因此在日益膨胀的城市中生活的危险和不便有所减弱。科学既揭露制造方法的危险和滥用，又设计出办法来避免这些危险和滥用的产生。如果篇幅允许，我们将会投入更多的注意力去关注工业化社会中医学与科学技术（scientific technology）之间的相互关系，但现在只能扼要介绍，列举医学有负于新化学工业的一些早期例子。

相对于第一个阶段，工业革命的第二个阶段给大多数西欧和美国居民的生活带来了更加直接和有益的影响。第一个社会影响是使工厂和矿井的生活变成几乎不可忍受的严酷，家庭生活也变得贫困不堪。19 世纪下半叶，科学工业竭力减少危险、困苦和腐败。廉价的交通运输使得数百万人有可能离开欧洲、俄国甚至亚洲那些萧条地区，去寻找新的希望之乡。劳动力因为电力和机械的广泛应用而从繁重的劳动中解脱出来——尽管许多古老的绝技也因此而被牺牲。日落而息的起居制度因廉价的人工电力照明而终结。印刷品人人可得（第 29 章），可以说奠定了大众民主的基础。即便是最穷困的人，也获得了新衣服和更多、更好的食物，住上了改造过的房屋。对富人们来说，摄影术（第 30 章）、乘坐气球（第 17 章）和机械化的道路交通（第 18 章）这些新发展给他们的生活带来多样化的同时，也带来了实用。

然而，很少有人意识到日常生活具有技术色彩（technical colour）这样一个事实。也正是出于这个原因，主编们很适宜地在这卷《技术史》中比前面几卷走得稍微远一点，讨论了新技术（new technology）对人类的影响。这一讨论在第 34 章进行。

世界范围的技术史（world-wide technological history）中另一个重要的主题，是西方的技术和生产方法在非欧洲国家的建立。这个问题也发生在 19 世纪下半叶，而且在 1868 年以后的日本表现得非常明显。然而，为了遵循最初的方针，主编们不得不决定忽略有关这个重大历史过程的周密讨论，因为这个时期在很大程度上是一个直接模仿的过程。值得注意的重点是西欧以外的地方，首先在美国，在俄国也非常明显，技术的发明和发展正变得越来越重要。这一点在本卷的各个章节中都有所体现。

本卷能够用适当的插图来配合说明技术性较强的内容，需要归功于有关作者的大力合作。感谢大英博物馆图书馆、剑桥大学图书馆、伦敦图书馆、英国专利局图书馆以及科学图书馆的行政官员，从他们

那里我们得以复制如此丰富的插图资料，他们还帮助我们进行了细致的编辑工作。帝国化学工业有限公司的图书馆馆员还提供了许多非常难得的宝贵资料。我们感谢伍德尔（D. E. Woodall）先生，他为使正文具有资料价值，以娴熟的技巧承担了大部分技术性工作。第Ⅲ卷和第Ⅳ卷的索引由亨宁斯（M. A. Hennings）小姐编制，她对于细节的认真负责使我们及时发现了几个微小的差异，并做了修正。

感谢为完成本卷内容做了大量基础工作的其他团队成员，他们是：皮尔（D. A. Peel）女士、里夫（M. Reeve）小姐、佩蒂（J. R. Petty）小姐和伍德沃德（J. V. Woodward）小姐。

为了纪念这一整部著作而不仅是第Ⅴ卷的完稿，主编们很乐意也有责任对所有助其完成的人表达最诚挚的谢意。首先要感谢帝国化学工业有限公司，如果没有他们在经济上的慷慨支持，这个项目就永远没有办法着手进行。面对这个浩大的出版冒险工程，主编们固然肩负着完成它的重任，但如果没有这么多来自各方面的襄助，我们永远也不可能完成。我们感谢撰稿人，感谢他们对编者意见的采纳；感谢本卷和前4卷的工作人员、秘书和克拉伦登出版社（Clarendon Press）的工作人员、插图绘制人员，以及花费业余时间与我们探讨编辑过程中遇到的难点的各位专家。最后，我们要感谢沃博伊斯爵士（Sir Walter Worboys），作为帝国化学工业有限公司的总裁，整整8年，他为我们完成这个项目给予了最积极的支持和鼓励。

ix

查尔斯·辛格 (CHARLES SINGER)

E. J. 霍姆亚德 (E. J. HOLMYARD)

A. R. 霍尔 (A. R. HALL)

特雷弗·I. 威廉斯 (TREVOR I. WILLIAMS)

第Ⅴ卷撰稿人

第 1 章　食品生产的增长

G. E. 富塞尔（G. E. FUSSELL）

第 2 章　食品的处理和贮藏

T. N. 莫里斯（T. N. MORRIS）

曾任职于剑桥低温研究所

第 3 章　钢铁工业

H. R. 舒伯特（H. R. SCHUBERT）

伦敦英国钢铁研究所历史调研员

第 4 章　金属提炼的新方法

R. 查德威克（R. CHADWICK）

第 5 章　石　油

R. J. 福布斯（R. J. FORBES）

阿姆斯特丹大学古代纯粹科学和应用科学史教授

第 14 章　　精细化工产品

阿瑟·W. 斯莱特（ARTHUR W. SLATER）

第 15 章　　铁道工程的发展

C. 汉密尔顿·埃利斯（C. HAMILTON ELLIS）

第 16 章　　造　船

A. M. 罗布（A. M. ROBB）

格拉斯哥大学前造船学教授

第 17 章　　航　空

彼得·W. 布鲁克斯（PETER W. BROOKS）

英国欧洲航空公司董事长技术助理

第 18 章　　机械式道路车辆

D. C. 菲尔德（D. C. FIELD）

第 19 章　　地图绘制与航海辅助设备

D. H. 弗赖尔（D. H. FRYER）

英帝国 O.B.E. 勋衔获得者，泰恩河畔纽卡斯尔皇家学院测量学高级讲师

第 20 章　　建筑材料及技术

S. B. 汉密尔顿（S. B. HAMILTON）

英帝国 O.B.E. 勋衔获得者，任职于沃特福德建筑研究站

第 21 章 桥梁与隧道

H. 雪利・史密斯（H. SHIRLEY SMITH）

英帝国 O.B.E. 勋衔获得者，克利夫兰桥梁工程有限公司董事

第 22 章 水利工程

J. 艾伦（J. ALLEN）

阿伯丁大学工程学教授

第 23 章 供 水

F. E. 布鲁斯（F. E. BRUCE）

任职于伦敦帝国理工学院土木工程系

第 24 章 纺织工业

第 1 篇 纺织品

D. A. 法尼（D. A. FARNIE）

任职于德班纳塔尔大学历史系

第 2 篇 针织品与花边

F. A. 威尔斯（F. A. WELLS）

英帝国 O.B.E. 勋衔获得者，诺丁汉大学工业经济学教授

第 25 章 金属加工

R. 查德威克（R. CHADWICK）

第 26 章 机 床

D. F. 加洛韦（D. F. GALLOWAY）

大不列颠工艺设计研究协会研究部主任

第V卷目录

第1编　基本生产

第6编 土木工程

第1编

基本生产



第1章　食品生产的增长

G. E. 富塞尔（G. E. FUSSELL）

1.1　食品供应的一般变化

从1800年到1900年，欧洲的人口大约翻了一番。英格兰和威尔士的居民在1811年有1000万人，到1911年则达到3700万人。德意志帝国的居民在1871年有4000万人，到1914年则达7000万人。除了法国的人口在1870年以后几乎保持不变，其他国家的人口都有相当数量的增加。因此，尽管有许多人移居北美和其他地方，但与19世纪初相比，19世纪末的欧洲不得不多供养2亿人口。

在世界其他地方，例如印度，人口增加的结果是使生活标准降低，这是众所周知的。不过，19世纪的欧洲却不存在这样的问题，生活标准反而普遍提高，饮食比过去更多样化，更有益于健康[1]，勉强维持生活的人越来越少了。对此，人们自然要问，欧洲的农田并没有大量增加，怎么可能出现这种情况呢？况且，许多国家都有很多的人流入城镇，致使农村的食品生产者与城镇的食品消费者的比例持续降低，而城镇居民的生活又只能靠乡下人的劳动来保障。

对于这个问题有四种回答，其中两种回答将在之后进行更详细的讨论。第一，工业生产比人口增长得更快，这使欧洲的居民能用他们

1　爱尔兰除外，其人口和马铃薯之间不稳定的供需平衡遭到了从1845年开始的马铃薯枯萎病的破坏，带来了饥荒和大量移民。

的工业产品去交换食品和工业原料。第二，运输手段的开发使人们能把世界遥远地方的多余食品大量地、便宜地运到欧洲。在这一点上，贮存方法的进步（第2章）是头等重要的，因为在1850年以前——举例来说——即使能从澳大利亚那样远的地方运来肉类，也只不过是对欧洲人的饮食做了一个小得可怜的点缀。第三，不仅在北美、阿根廷、澳大利亚、新西兰和南非的新开发的领土上，而且在埃及、印度、锡兰、西非、马来亚和其他热带地区的被当地居民长期以来一直耕种的土地上，欧洲人经营的农场土地面积都有了巨大的增长。在新的领土上，荒地被耕种或放牧，主要用于生产在欧洲有广阔市场的纺织纤维、肉类和谷物，在劳动力缺乏的地方就用机械来代替。在热带的大农场，当地的劳动力在欧洲人的管理下工作，使用不太复杂的机械设备，种植高产优质的水稻、甘蔗、茶、咖啡等农作物，生产如橡胶和植物油这样的工业原料。无论在海外什么地方，只要欧洲人的势力扩张到那里，不仅对消费品，而且对只有欧洲工业才能提供的基本建设设施，例如铁路、桥梁、轮船、机器和成套机械等，就都有一种永远满足不了的需求。因此，殖民地国家的经济与其宗主国的经济是互补的，它们互相提供对方所需要的东西。

2

第四，欧洲本身的农业生产力也发展到了较高的水平。一般说来，这可以部分地归功于较好的土地所有制和土地使用制，部分地归功于引进了新的辅助手段如机器和肥料，部分地归功于通过选种而改良了植物和动物的品种。实际上，1800年到1850年间，欧洲增加的食品需求量主要是靠大力开发欧洲自己的资源来满足的。然而在1850年以后，这些增加的需求量大部分却是靠海外供应来满足的，特别是像谷物和肉类这样的基本食品。正如下面将要详细提到的那样，欧洲农业结构的这种变化造成了巨大的困难，它的后果甚至到今天仍可感觉到。在某些国家，例如丹麦和荷兰，由于对农业生产实行了合理而有效的重组，很快就在食品市场上抵制住了来自

海外的大多数竞争，食品价格的大幅下跌对它们所造成的灾难就比英国等国家要小一些。在英国，由于工业化的发展最快（使得对即买即食的廉价食品的需求最为紧迫），农业在社会政策中没有占据首要的位置。

1850年，当西欧的大部分人口仍然靠他们自己的农产品来生存的时候，各个国家之间在谷物、牛和乳制品方面的贸易已经相当发达了，但是这些商品很少甚至没有来自海外的竞争。从北美进口的一些谷物、从新西兰和澳大利亚进口的羊毛，已经对欧洲的饲羊业产生了某些影响。不过到那时为止，大部分进口食品还是热带或亚热带的产品，例如咖啡、茶、可可、糖和稻米。前两种产品在欧洲是不能生长的，但甜菜糖已开始与蔗糖展开竞争，而且在意大利和西班牙多少种植了一些水稻。大部分欧洲国家也种植烟草，但所消费的烟草大部分来自美洲和亚洲。

3

50年以后，这些情况完全改变了。尽管欧洲的农场主以前是在当地市场上把他们的农产品出售给自己国家和相邻国家的，但到1900年，当地的或全国性的市场已融入了国际市场。采用优良品种、高价肥料、精耕细作和耕牧混合等强化手段来耕种作物的欧洲农场主，发现自己面临的挑战是便宜的进口肉类和谷物。这些食品是在新占有的土地上以最低成本大规模生产的，而且这些土地的肥力从未被利用过。

这些新的土地包括美国的中西部、加拿大、澳大利亚的大部分、新西兰的山地和阿根廷的大草原。除了当地一些动植物被分散居住的土著人用来谋生外，这些地区（阿根廷除外）从前都不生产农作物。土著人对系统的耕作放牧几乎一无所知，但到19世纪末，他们已为出口而大量生产农作物。而且，在这半个世纪中，著名的乌克兰黑土地上也开始种植小麦了。

1.2 美国和加拿大

在美国，到1850年时，已在加利福尼亚州、俄勒冈州和犹他州建立了殖民地的开拓者们跨过了大平原，使美国的殖民者定居地扩展到了大平原的东部边缘。在以后的40年间，这一地区几乎都被占据并开始耕种。1869年，联合太平洋铁路完工，建造铁路的工作人员就是以野牛（骏犎）为食的，他们几乎灭绝了那里的野牛。在南北战争（1861—1865）后的20年里，又建成了其他几条横贯大陆的铁路线，这一不再是骏犎群栖息地的辽阔区域便可被用来放牧牛群。据估计，在1860年到1900年间，美国的农田增加了4亿英亩，超过了英格兰和威尔士全部面积的10倍。

4

虽然北美东海岸的早期定居者被迫让自己适应于栽培新作物（玉米、烟草、棉花和甘蔗），尤其是在南部各州的高温气候下，但他们还是带来了自己家乡的耕种思想。后来在独立战争期间以及在19世纪初，像华盛顿（George Washington，1732—1799）和杰斐逊（Thomas Jefferson，1743—1826）这些进步的农场主研究了在英格兰实施的新的轮作方法。因为即使在当时，较老的定居区的产量已逐年下降，特别是在那些——如弗吉尼亚州——因连年种植烟草又不使用肥料而导致土地已部分贫瘠的地方。于是，人们试着仿效欧洲的轮作方法，种植了三叶草、蚕豆和豌豆，偶尔还有芜菁。但是在美洲，种植这些作物并没有获得像欧洲那样的成功。在一个普遍种植玉米并以此作为主要饲料作物的地方，种植用作牧草和干草的三叶草并不是那么重要。这个地区的芜菁种植也不成功。在19世纪，为了增加土壤的肥力，人们使用了石膏、泥灰土、石灰肥料和秘鲁鸟粪等。

1850年，工厂制造的大量机械应用于农业。麦考密克（McCormick）于1834年设计的收割机（第Ⅳ卷，图5）在1850年一年内就卖出了近1000台。到1857年，伍德（Wood）的铁犁和迪尔（Deere）的钢犁在一年内均可卖出1万架。在南北战争爆发以前，小麦条播机就得到了普

遍的应用。后来，由于军队需要男人从军，劳动力的来源减少了，机械的应用就不得不增加了。

在南北战争后的几年中，最惊人的是自由放牧区的发展，1866年到1886年是它的黄金时代。这里的牛是西班牙人引进的牛种的后代，它们在放牛仔的照料下随意游荡，在几乎灭绝的骏犎生活过的土地上大量繁殖。大群的牲口被从得克萨斯州向北驱赶至铁路线甚至更远的蒙大拿州。这些地方建立了以芝加哥为中心的肉类加工业，到19世纪70年代，已能向欧洲市场提供肉食。起初，这些牛肉的质量是较低的——牛虽然强壮，但体瘦角大，出肉率低，产奶量少。直到用欧洲的品种改良了这些牛以后，情况才得以好转。在1861年以前，这些地区就已经引入了英国泽西岛、赫里福德、艾尔郡、加洛韦和德文等地的牛种，后来又引进了其他品种的牛。在这20年里，这一地区牛的数量翻了一番，到1886年前后已达4500万头。

在美国其他地方也存在大规模的放牧活动。在后来的日子里，随着品种的改良，牛先要在艾奥瓦、伊利诺伊、印第安纳、阿肯色以及其他一些州育肥，而不是直接送到屠宰场。在前两个州（每个州都像英格兰和威尔士那么大），牛群是用著名的“蓝草”（*Poa pratensis* 和 *P. compressa*）饲养的。人们通常把这种“蓝草”与著名的养马地肯塔基州联系在一起。然而，一般用玉米育肥向市场提供肥牛肉，需要用75蒲式耳的玉米和5个月的时间来达到此目的。在艾奥瓦州，收割完玉米后，便要播下梯牧草[1]，以得到干草。在这个耕地面积以及它所养育的人口急剧增长的年代里，马、羊和猪也越来越多。这些牲口有一些是在放牧区的边缘地带生长繁衍的，但更多的是靠家庭饲养。人们常用的是玉米和其他饲料，但在这个地区也会种植小麦、燕麦、黑麦、大麦、荞麦和马铃薯。与放牧区一样，饲养场里的人们也注意通过育种来改良品种。例如，他们用科茨沃德羊、南丘羊和莱斯特羊的

5

1 学名是 *Phleum pratense*。这种草的种植是由汉森（Timothy Hanson）（主要活动于1720年）提倡的。

公羊来育种，也用著名的美利奴羊来育种。19世纪70年代，良种登记册问世，这代表了一种新的育种观。

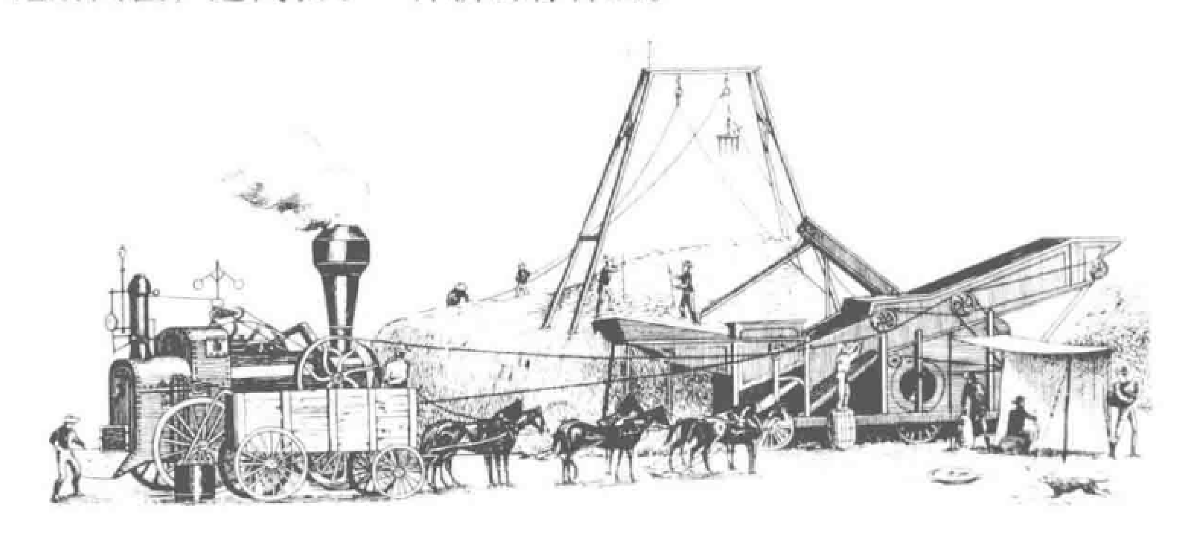


图1 加利福尼亚的打谷场，1883年。大规模的劳动需要许多男人。图中，两个“进料工”不断地把原料送进“自动给料器”。在机器的右边，一组工人在不断地拉走稻草，其中的部分稻草是供蒸汽机的锅炉使用的。

在其他地方，像1850年之后新建立的一些州——主要是密西西比河西部的那些州，那里的气候和土壤在一些时候特别适宜种植可作为商品的小麦。这些州是堪萨斯州、内布拉斯加州，后来还有北达科他州和南达科他州。铁路把谷物带到东部巨大的谷物仓库，又通过北美洲五大湖和其他的途径（第Ⅳ卷，图304）把谷物运过大西洋，从而逐步地降低了面包的相对成本。这些“财源滚滚”的农场也遭受了许多兴衰变迁——因严重缺乏草根吸附而产生表土流失的旱灾，雹暴，毁灭作物的蝗虫灾害——但气候条件有利时，就能出口大量粮食。这些广阔地区的耕种方式很快就改成了机械化操作（图1），尽管它还保留着农业上的原始性。这里不使用肥料，因为没有适用的肥料。人们把种子播进浅浅的犁沟里让它们生长，在收获一两次作物以后，就会让贫瘠的农田休耕，以便尽可能地恢复土壤的肥力。

6

大量产出的谷物和肉类不仅影响着人们早已定居的东部各州——在那里许多贫瘠的农田已不再耕作，飞速的城市化进程和连续不断的欧洲移民使乳牛场和蔬菜栽培得到了进一步发展，而且对欧洲产生了

更大的影响。但在19世纪的最后20年里，就轮到美国的小麦农场主承受来自澳大利亚、乌克兰和加拿大这些新开垦地区的竞争压力了。

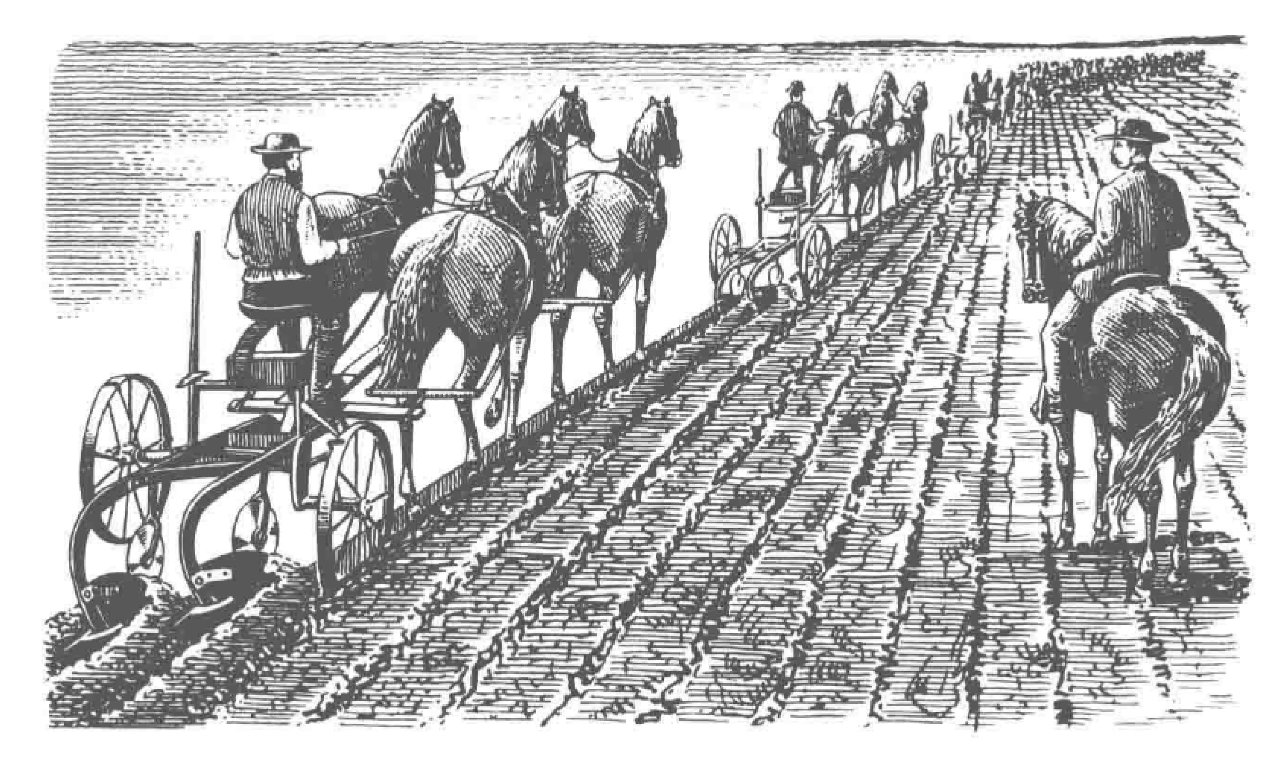


图2 达科他州的大规模犁地，约1880年。

宽广的大草原伸展到北纬49度以北。这些加拿大的西部省份与美国的相应地区相比，人口定居要稍晚一些，但农业的耕作方法是类似的，即无休止地开发固有的地力。小麦几乎是一种最普通的作物，特别是在马尼托巴省，至今仍然是这种情况。种了两熟小麦以后，再种一熟燕麦，接着是休耕。犁地是很轻松的（图2）。每年6月对大草原上的土地进行除草，一个月后再除一次。首先在大草原上播种（图3），然后在夏天休耕的土地上播种，最后在上年冬天犁过的土地上播种，这样就不会在同一时间进行收割。像美国西部一样，加拿大的西部地区也存在土壤侵蚀、肥力下降等问题，只不过进展比较慢、程度比较轻而已。同时，人们以较低的成本生产了大量小麦予以出口。

在加拿大的西部地区，特别是在落基山脉的东麓，到处饲养着牛。像在美国一样，它们在草原上自由地栖息。然而，这里牛肉的出口从未达到可观的规模。这里也用短角牛、苏格兰的安格斯牛和荷兰牛来

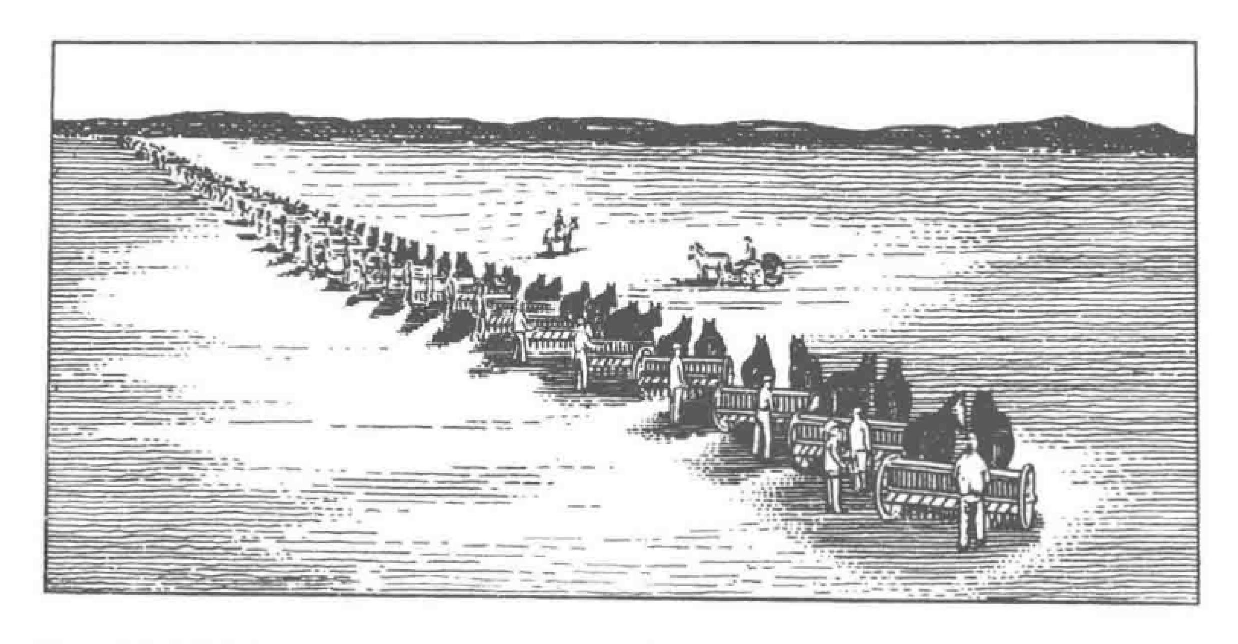


图 3　在加拿大大草原上播种小麦的人群，约 1880 年。

改良品种。一些活牛被出口到欧洲，但是早在 19 世纪末期以前，这种交易就被出口冷冻牛肉代替。随着乳牛业变得越来越重要（尤其是在东部省份），加拿大的乳制品也进入了欧洲市场，使欧洲当地农场主的处境十分窘迫。

1.3　澳大利亚、新西兰和阿根廷

新西兰和澳大利亚的食品出口增长速度更为惊人。18 世纪末期，在澳大利亚的欧洲人只是少数被流放的罪犯。到 20 世纪初期，那里的欧洲人已有几百万名，他们生产着大量供出口的肉类和小麦。殖民化更晚的新西兰，则变成了一个牧羊业和乳牛业大国。

在早期的澳大利亚，自然放牧的美利奴羊被饲养得特别成功，羊毛是移民们最早出口的产品。1843 年，当澳大利亚的欧洲人达到近 20 万人时，南澳大利亚开始出口小麦。在此后的 20 年里，黄金的发现使人口增长了 6 倍。英国《谷物法》(*Corn Laws*) 的废除和其他的关税改革，也有利于英国的食品进口。和美国平坦、开阔的草原相比，澳大利亚的种植业发展得比较缓慢。那里的土地往往不利

于耕作，为了使庄稼生长得好一些，必须把遍布的坑洼填平，耕种几年以后才能使之成为肥沃的土壤。澳大利亚的许多地方缺少雨水，土地中还缺少磷酸盐，但是直到1882年才开始进口过磷酸钙。粮食产量像中世纪的欧洲一样低，每英亩仅10—15蒲式耳。然而，在烧荒或部分采伐的森林土地上使用了摘穗机（一种联合收割机）和跨树桩犁等新工具以后，艰苦的作物种植条件得到了改善。由于土地要比劳动力容易得到，人们就更多地使用机械。铁路系统的发展也促进了大量初级产品的出口，因而到19世纪80年代，澳大利亚的小麦在世界市场上已经占有非常重要的地位。到19世纪末20世纪初，它的影响则更大了。

8

大量的牛是在自由放牧区饲养的，牛肉主要供家庭食用。因为澳大利亚所有牛的品种都比在美洲大草原上经改良而成的西班牙长角牛出现得更晚，所以很可能是改良品种，但是喂养的方法没有太大的差异。放牧的牲畜随意觅食，而且杂乱繁殖。在冷冻法发明之前，他们仅出口咸牛肉、兽皮和牛脂。冷冻法（边码45）使这种大规模的贸易得以开展，冷冻的或冷藏的牛肉、羊肉或羔羊肉从19世纪80年代起开始运往欧洲。尽管这种贸易是成功的，但澳大利亚的牛肉还是竞争不过阿根廷的冷冻牛肉。在1914年之前的一些年代里，阿根廷的冷冻牛肉开始占领市场。

乳牛业的发展经历了一个特殊的过程，由南维多利亚向新南威尔士、新西兰和塔斯马尼亚逐步扩展。森林是靠砍伐、烧荒和环割树皮加以开垦的。在部分开拓过的土地上播种黑麦草、鸭茅和三叶草，尽管有蝗虫灾害的偶尔侵蚀和椋鸟的糟蹋，但事实证明这种简单播种牧草的方式对喂肥肉牛和乳牛卓有成效。只是本地的蛇、澳洲野犬等其他有害动物会对羊群造成危害，并且偶尔也攻击牛群。

冷冻机、脱脂机和巴布科克（Babcock）乳脂测定仪的引入，简化和促进了乳制品的生产。第一个黄油厂建于1892年。1890年以后，

由于掌握了冷冻方法，能够出口改进的均质黄油。季节因素对出口也很有利。在春天长出来的牧草的收获高峰期正好是9—11月，此时欧洲的牛奶产量正处于低潮时期。这样，澳大利亚的过剩牛奶就能在一年中最好的市场时机送到英国去。澳大利亚的乳牛是众所周知的好品种——短角牛、艾尔夏牛、无角红牛、黑白花牛和格恩西乳牛，而且每种牛都有它自己的澳大利亚良种登记册。

人们用两种方法弥补夏天牧草的短缺。在春天牧草长得茂盛时有些围场很少放牧，而是让那里的草结籽，保存起来作为以后几个月的粗饲料，其中散布着足够多的绿色物质，牛能够消化。但是这种做法不是很好，因为它很可能会引起牧草的退化。在其他地方，随着乳品工业的发展，则是通过种植其他饲料作物来弥补牧草的短缺。人们种植了玉米、黍、苏丹草、高粱和根茎类植物，或是用于放牧，或是割下来作为青贮饲料。在牧草方面更为晚近的改进已趋向于增加干草或青贮饲料而减少饲料作物。在这里，牛奶多被制成黄油而不是乳酪这是受当地饮食嗜好影响的结果。

9

19世纪60年代，在新南威尔士的北海岸区域和昆士兰的南部地区，澳大利亚首次种植了甘蔗。大约到1875年，已经种植了约1.1万英亩，而且在此后的20年里，种植区域又向北扩展。到1900年，早期定居者开发的葡萄种植业占据了6万英亩土地，据估计，此时总共制成了约350万加仑的葡萄酒。到19世纪末20世纪初，人们才开始为出口而种植水果。

在新西兰的农业发展过程中，最初阶段也是以畜牧业为主。在广大的英国租借地区域，羊的数量一直在迅速增长。在北岛，人们用火清除了成片的欧洲蕨林和树林，播种了英格兰的草。南岛是被人们作为一个混合农业区来发展的，那里不但为出口而大规模种植小麦，而且用人工种草来生产饲料作物。在这里，人们使用了双铧犁、割捆机和谷物播种机，但是直到1880年之后才使用人造肥料。稍后，特

别是在1890年以后，当开始为出口而生产乳制品时，一些农场主才开始用肥料和石灰给牧草施表肥。在1880年建立坎特伯雷农业学院（Canterbury Agricultural College）和1892年建立农业局以后，随着农业教育的发展，这种做法便慢慢地普及。

新西兰的农业资源与其他那些新开发的处女地上的农业资源一样，以与其国土面积相称的速度迅速地增加。羊的数量从1855年的76.2万头增加到1881年的近1300万头，小麦的产量从1870年的32.5万蒲式耳增加到1891年的1675万蒲式耳和1899年的1925万蒲式耳。1890年以后，这里的黄油和乳酪的制造和出口变得越来越重要。

在1850年允许移民后，阿根廷的大草原变成了更为密集的住宅区，也变成了放牧羊和牛的生产地。从19世纪70年代起，这里就开始出口冷冻羊肉。但是现在十分重要的阿根廷牛肉，直到1900年之后才开始出口，那时阿根廷已成为农产品主要出口国之一。

1.4 英国农业（约1840—1890）

10

从这片1850年之前从未耕作过或者说没有完全开垦的土地上涌来的大量食品，对欧洲农业的影响是深刻的。但是，如果没有这些食品供应，欧洲的工业就不可能发展，人口急速增长所引起的对食品需求的增长也不能得到满足。英国是最早的工业化国家，它的人口也增长得最快，所以它最需要这些食品供应。当海外的竞争变得日益激烈时，英国的农场主大概是最受折磨的，不过整个西欧的农场主也都感到了这种竞争的压力。

大约在1880年以前，除了食品原料洲际贸易发展相对较慢的因素外，其他几个因素也延缓了这种竞争对英国农业的全面冲击。农场主们对1846年废除《谷物法》所产生的影响感到恐惧，但人口的增长及其所带来的繁荣使这种影响得到了缓和。人口的增长需要更多的粮食，也需要更多的肉类、牛奶、水果和蔬菜。再者，1854—

1856 年发生的克里米亚战争、1861—1865 年发生的美国南北战争和 1870—1871 年发生的普法战争，都有利于维持英国农场主的兴旺发达，因此，直到 1879 年——一个和平时期发生自然灾害，他们才认识到早在 1846 年就被明确预言和描述过的经济灾难。实际上，这样的经济灾难是各种不利条件组合起来再加上国外竞争的结果。

在 1840—1880 年这一所谓的“高级农业”(high farming) 时期，农场主们采用了各种精耕细作的方法，并普遍提高了农业生产操作的标准，以努力保持自己的地位。

许多方面的发展配合起来为取得这样的结果作出了贡献。首先，新的肥料（第 11 章）提高了作物的产量。从 19 世纪初开始，就能采用骨粉或溶性骨粉。从 19 世纪 40 年代起，进口了秘鲁鸟粪和智利硝酸盐，劳斯（Lawes）和吉尔伯特（Gilbert）开始在巴金（Barking）制造过磷酸钙，在剑桥郡、欧洲大陆和北非开采了磷酸盐矿物。从 19 世纪 60 年代起，又在德国和阿尔萨斯地区开采了钾碱。其次，精心的植物培育也给农场主提供了高产的谷物品种，其中包括“方头大师”(Squarehead Master) 小麦和舍瓦利耶（Chevalier）大麦。如此一来，谷物种植以两种方式得到改善：一方面，作物可以更有效地取得养料；另一方面，种子本身也更适于繁殖。

11 然而，还有一个试用了种种方法却仍然没有彻底解决的问题，即如何排放农田里多余的水。埃塞克斯人采用挖沟犁的方式已有半个世纪了，至少那时已经使用了各种形状的排水瓦沟，然而直到设计出一种制造圆形排水管的机器以后，农田排水才取得了非常大的进展，特别是对黏重土地而言。根据 1846 年的《谷物法》以及它的补充法令，政府的贷款帮助了这项事业，但大面积土地的排水则是通过民间不受政府资助的努力才得以实现的。根据地主和佃户之间流行的协定，前者提供瓦沟或管子，后者则为铺设管路提供劳力。遗憾的是，人们没有很好地理解土壤排水的机制，许多管子铺设深度大于 4 英尺，由于

太深而不能有效地发挥作用。

人们设计了一些新的农业机械，甚至把它们引入英国的小型农田。美国人麦考密克（McCormick）和赫西（Hussey）在1851年的伦敦万国博览会上展出了他们的收割机，贝尔（Bell）也对自己十多年以前发明的机器重新产生了兴趣。许多新型耕作机械都被提供给了农户，例如马拉锄、播种和施肥机、滚压机、耙和收割机（图4）。轻型蒸汽机早已被应用于驱动谷仓机械，谷仓机械也同样得到了迅速的发展。

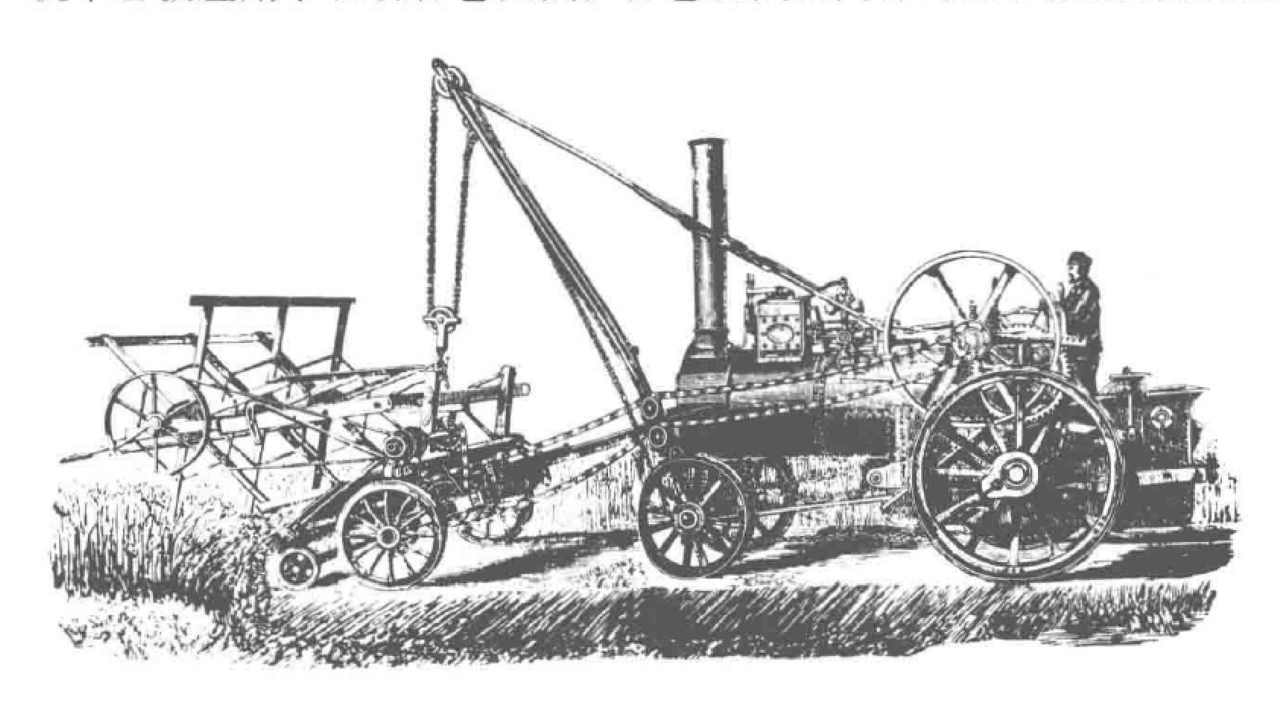


图4 一种蒸汽驱动的收割机，约1876年。

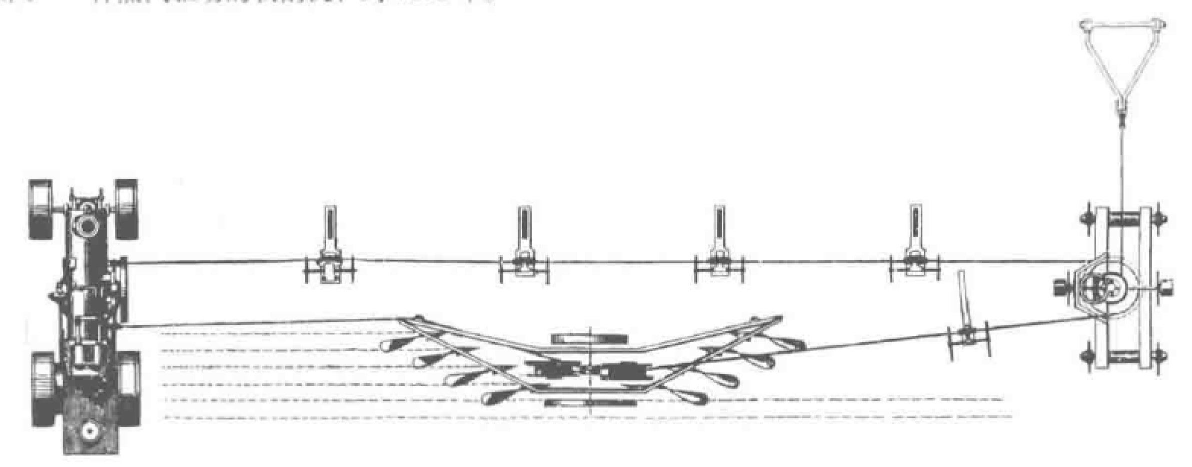


图5 蒸汽犁装置，由利兹的约翰·福勒公司（John Fowler & Company）制造。它有两架犁，在犁地时交替使用。蒸汽犁的进一步发展基于钢索的使用，因为铁链太重而大麻纤维又容易磨损。在19世纪60年代，人们通常使用一种由24根14号钢丝线绞成的钢索。

1858年，福勒(John Fowler)因他发明的蒸汽犁地法(图5)而获得500

12 英镑的奖金。在这半个世纪里，这种方法以及与此类似的方法被犁地和脱谷的承包人和个体业主广泛采用。

虽然海外贸易会降低本地谷物和肉类的价格，但其不利的方面却因为有大量的饲料进口而略有改善(很难说清楚到底改善到什么程度)。进口的玉米、蚕豆和大麦有助于饲养牲畜，并由此提高了有机肥料的供应量和质量。长期在低地国家使用的菜籽饼和亚麻籽饼等工业废料，也开始在英国普遍使用。约1850年以后，由于加进棕榈果和芝麻等类似的进口产品制成了一种复合饼，这些工业废料对农场主的价值日益提高。随着谷物价格的下降以及畜牧业和乳牛业优越性的日益明显，人们开始用谷物来喂养牲畜。市场上还大量供应各种各样的干货，例如啤酒作坊的麦芽渣、干畜血和鱼干，所有这些都被用来做饲料。这些饲料被用来弥补根茎类植物和三叶草的不足，而根茎类植物和三叶草仍然是为改进混合耕作而于18世纪发明的诺福克四圃轮作制的基础。这种轮作制及其改进形式，带着人们改良轮作草地的愿望，在这一期间或长或短地持续着。然而，经过19世纪70年代的自然灾害之后，人们不得不大大改进甚至放弃这种轮作制。

在维多利亚女王(Queen Victoria)执政的早期，家畜的疾病不断地造成严重的损失。1865年，牛瘟的流行迫使政府采取了严厉的措

13 施，命令屠杀受瘟疫影响的畜群。采用这种办法既克服了牛瘟，也大大减轻了口蹄疫和胸膜肺炎的蔓延。尽管有流行病暴发，但在1850年至1875年这25年间，牲畜的饲养还是取得了很大的进展。许多牛种的良种登记册就是从那时开始出现的。当时，培育出了像牛津(塘种)羊和汉普夏羊那样的新品种，同时也保留了原来的品种。农场主不仅增加了他们的畜群数量，而且也改良了构成这些畜群的牲口的品种。向新的国家出口品种优良的牲畜的重要贸易也兴旺起来。

接着是连续不断的恶劣气候，在灾害之年(1879年)达到了最严

重的程度。地里的干草在淫雨中腐烂，谷物在禾束堆里发芽，羊死于肝蛭病，牛也受到口蹄疫和胸膜肺炎的折磨。好像这还不够，在以后的几年里，罹难的农户又要面对日益激烈的竞争，即那些来自海外新开发地区的便宜谷物和肉类的竞争。尽管有瘟疫，但比起那些主要从事谷物种植的农户来，从事放牧的农户所受的损失还是少一些。然而，19 世纪末的英国农场主普遍都遇到了由新的世界农产品市场所确定的低价冲击，他们被迫改变生产方法和产品。工业城镇对牛奶及乳制品的需求不断增长是一个很好的机会。海外的生产者在鲜奶市场上是无法竞争的，不过他们能够而且确实送来了炼乳（边码 35）、人造黄油[1]、黄油和乳酪。于是，农场主开始增加他们的鲜奶产量，特别是在 1865 年牛瘟蔓延蹂躏了城市养牛者的牲畜以后。在这个发展过程中，铁路起了重要的作用，它能够迅速地运送牛奶。一直到 19 世纪末，乳牛饲养业长盛不衰。其结果是某些类型的土地——像埃塞克斯的黏重土地和诺福克的沙土地——几乎完全不能耕种了。

虽然气候在 19 世纪 90 年代有所好转，但由于进口产品的数量增加、价格继续下跌以及成本不断上升，英国农业的状态引起了政界的关注。1879 年以后，英国通过了一些具有缓和作用的法规，经过进一步的调查以后，又在 1893 年把其他一些措施变成法律。1889 年，英国建立了农业部，取代了枢密院原来负责处理农业问题的委员会。

1900 年，英国的农业体制有了很大的改变。虽然还存在着许多把大量资本专门用于生产谷物、肉类和牛奶以获取利润的大型农场，但从全国来说谷物种植大大减少了。当时，农场主开始把注意力集中到以供应市场为目的的蔬菜作物上，例如马铃薯和绿叶菜这些专门为城里人种植的蔬菜。他们还继续繁殖良种牲畜，因为已经有了专门买卖国产优质牛羊肉的国内市场。乳品业组织得更有秩序，有时还采取

14

1　人造黄油是在 19 世纪 60 年代由法国化学家梅热－穆列斯（Mège-Mouries）发明的。它首先在荷兰制作并得到改进，并在 19 世纪的最后 10 年里得到了迅速的发展。

合作经营的方式。同时，水果的种植面积也大大扩大。英国的农场主再一次显示了他们能调整自己的方法以适应新的、变化着的环境，于是在第一次世界大战以前的几十年里，他们开始复兴了。

1.5 欧洲大陆的农业（1850—1900）

德国 在德国，与农业有关的发展从19世纪初起就沿着人们熟悉的路线稳定地进行着。为了开展良好的教育，建立了农业学校和学院，李比希（Justus von Liebig，1803—1873）和他的学生们对此发挥了很大的作用。在耕作法的改进方面，采取的措施是减少休耕农田的面积。1850年，休耕农田大约是耕地面积的15%，1883年降到7%左右，而到1913年又降为2%，种植面积稳步增加。由于条件的好转、肥料的改进和选种法的应用，每英亩平均产量也比以前有较大提高。

用灌木或石头修筑排水沟来排除农田积水的老方法已经使用了几个世纪。1852年，比利时、法国、德国和奥地利也开始讨论并试验英国采用的圆形陶制管子的新方法。它是改进德国东北部泥炭沼地的一项重要措施，受到建于1877年的不来梅研究站的极大推动。通过排水、灌溉和施白垩，并在种植豆科植物前往地里施人造的氮、钾碱、磷等肥料，改良了所谓的“高泥炭沼地”（high moor）。对于“低泥炭沼地”（low moor）则是通过排水，从土壤下层或邻近的沉积地中挖出沙土撒到地表，以及使用人造肥料等措施来进行改造。

1850年，人造肥料的用量还是很少的，但后来随着这种肥料变得易于获得，就用得多了起来。1842年，德国第一次进口了秘鲁鸟粪。当时已经使用了骨粉，而且这种肥料变得更加重要。骨粉是在过磷酸钙之前施用的第一种磷肥，其品种有碾碎的骨头、蒸过的骨头和用石灰处理过的骨头。其他新型肥料是智利的硝酸钠、用城镇垃圾粪便等混合成的肥料、从煤气厂废物中获得的硫酸铵、施

塔斯富特的氢氧化钾（1868年）和碱性炉渣。谢里夫（Sherrif）的新品种小麦“方头大师”于1874年被引入丹麦，1879年又被引入德国。1890年，彼特克斯（von Petkus）培育出了彼特克斯黑麦，拉贝特哥（Rabbethge）和盖泽克（Geisecke）则培育出了高产甜菜变种。然而，德国像英国一样，在这半个世纪里，根本不重视对牧草和饲料作物的育种研究。

采用新机器后，种子地的耕作变得容易了。1868年，德国使用了第一部蒸汽犁装置，而且引进了英国的轮圈滚轧机和压土机。更多农场主使用了条播机和施肥机，而且事实证明收割机和割草机在德国和在其他国家同样十分有用。谷仓机械则成了大庄园和大农场的特征。然而，许多小农场主仍然使用较老的方法——在牛耕作过的种子地里手工播种、手工割草，用长柄大镰刀和短柄镰刀来收割。这些方法至今还在某些地区运用着。

1850年以后，人们更加注意牲畜的育种。用新方法深耕需要更强壮的马，据说那时已经引进了比利时的马，并让它们和德国的马杂交，这使后来的育种改善良多。在牛的饲养和繁殖方面也出现了许多变化，在杂交方面做了许多试验，以便培育出适合当地土壤和气候的品种。人们认为，牛肺结核和其他疾病的增多与棚养导致的缺少运动有关，于是又恢复了野外放牧，牲畜从5月到9月一直都在野外放牧，牧场用普通的铁丝或带刺的铁丝围起来。恢复这种旧传统的结果是需要更多的草地，解决的办法是把可耕地暂作牧场的时间延长，或者把耕地永久作为牧场。一般来说，这种方法对黏重土地是最适用的。青草的不足靠进口饲料来补充，当时人们种植了很多玉米，既进口玉米又出口玉米，但到1900年为止，进口量一直大于出口量。人们还用马铃薯废渣和甜菜制糖厂的废渣来做饲料。丰富的饲料养出了肥壮的牛，进口的良种则改良了当地的品种。从1850年以来，低地国家的牛已经遍及整个德国北部，但西门塔尔牛是如今分布最广的牛，占总

数的 44%。

虽然当时德国仍然向国外出售大量的美利奴羊，但由于海外羊毛的激烈竞争，在 1860 年至 1900 年期间，羊群的总数量还是减少了。为了得到更多的羊肉，人们用兰布莱绵羊和英格兰羊杂交以增加德国羊的重量。用制酪场的废物喂养的猪的数量，比牛的数量增长得更快。

16

1850 年至 1880 年这 30 年是德国农业历史上的最好时期。1880 年以后，德国农场主面临着许多与英国农场主同样的困境。俄国加入了新的海外国家集团，把农产品源源不断地运到德国。谷类的价格下跌了，而生产的费用（主要是工资）上升了。德国的农场主仍试图通过种植更多的饲料作物、使用外购的饲料和培育产量高的家畜，来极力抗衡外国产品的竞争。随着牛和猪的数量和重量的大大增加，畜产品的产量也大大增加了。德国的农场主还通过采用更为有效的种植和收割方法、更充足的施肥和精心选种来极力提高农作物产量——一句话，他们的耕作业和畜牧业都变得更加精细了。

法国 这种新发展同样影响了法国的农场主。由迪马努瓦尔伯爵（Count Dumanoir）发明的管道排水法对小农场主来说实在是太昂贵了，所以在 1897 年以前，只有大的庄园和农场加以使用。1897 年，在塞纳－马恩省建立了一些联合会，目的是使农民能够接受这种排水管道。在布里、索洛涅和香槟地区，则采用了大规模的排水系统。

法国自己制造了人造肥料，并且在 1855 年前后开始进口鸟粪。大约在同一时期，世界各地制糖厂的动物骨炭也被用船运到了南特。1870 年以前，法国没有进口智利的硝酸盐。在 1881 年征服突尼斯期间发现北非磷酸盐的若干年前，法国就在索姆河附近和阿登省进行了磷酸盐的开采。在钢铁厂附近耕种的洛林农民发现了碱性炉渣的效能以后，人们便普遍使用它。像英国一样，法国的不纯和无效肥料的销售受到了国家法规的控制。

到了 1860 年，法国在蔬菜和饲料作物的生产方面处于领先地

位，而且法国的植物育种家们也变得活跃起来。库特尔（Le Couteur）于1823年培育出以他的名字命名的小麦，后来又开发出以费尔米耶（Bon Fermier）和其他人的名字命名的品种，舍瓦利耶大麦则是另一个法国品种，维尔莫兰（Vilmorin）还大大改良了甜菜的某些品种。

在1862年到1892年期间，播种机的使用数量从9400台上升到了3.8万台，割草机的数量从1.88万台上升到了5.2万台，收割机的数量从8900台上升到了5.1万台，谷仓机械上配用了燃油发动机，此外还出现了蒸汽犁装置。1885年，首次使用了收割捆扎机。

人们把更多的注意力集中在牲畜的育种上。混乱的杂交是不大受欢迎的，因而在1860年以后，育种家们开始研究用本地的牲畜来育种，而不是去寻找英国的良种。经过精心选种和良好喂养，培育出了诺曼牛、利穆赞牛、佛兰芒牛和荷兰牛以及贝里肖恩（Berrichon）羊。布洛内马、阿登马、佩尔什马和布列塔尼马也是用同样的方法培育出来的。除了1855年开始建立的达勒姆短角牛良种登记册，1880年以后又建立了有关主要品种的家畜良种登记册。这样做的结果是增加了牛的体重和繁殖力，使牛成熟得更早，粪肥更多，畜力也更大。

动物的营养也逐渐变得更加科学。李比希（Liebig）把营养物分成三大类：血液和肌肉所需要的含氮物质（蛋白质），增加热量所需要的非含氮物质（碳水化合物和脂肪），以及矿物质。贝尔纳（Claude Bernard，1813—1878）在1847年研究了消化问题，德国研究者沃尔夫（Wolff）在1852年发表了一张关于蛋白质、碳、脂肪和纤维素含量的营养表。1895年，根据消化的氮、脂肪和碳水化合物，劳斯和吉尔伯特计算出了应摄取食物的配给量。一般来说，可把淀粉当量看作衡量饲料价值的一个指标。

我们不应该忘记，正是巴斯德（Louis Pasteur，1822—1895）在1857年到1881年间对细菌的研究，在农业方法上掀起了一场革命，它可以与兽医学和人类医学上的革命相媲美。例如，他对炭疽病的研

究指出了一种把羊和猪从这巨大灾祸中解救出来的方法。

在1878年到1898年间，由海外竞争引起的经济危机刺激了肉类和乳制品生产的增长，同时也扩大了市场所需的菜园、果园和花园的面积。另外，较多的土地被用来种植马铃薯、根茎类植物和饲料作物（它们的每英亩产量都有稳步的增长），种植纤维和油料作物等工业原料的土地则减少了。

比利时 比利时的土质南北不同，南部的瓦龙语地区为黏重土北部的佛兰芒地区为轻质土。这一时期，比利时的农业生产方法没有发生太大的变革，仍然实行有名的佛兰芒管理方法（第Ⅳ卷，边码14起），并将乳牛分栏饲养，用许多填闲作物对可耕地进行综合的精细轮作。

农场主们像父辈一样精心保存有机肥料储量，某些人也使用少量的人造肥料。供应糖厂的甜菜、做淀粉和食品的马铃薯以及供应酒厂的大麦均属经济作物。在邻近法国的东南部种植了大量的蛇麻子。19世纪80年代，在阿登地区仍然流行着一种草田轮作制（*Koppelwirtschaft*）[1]。瓦龙语地区的较大农场都是按一种混合的体制来耕作的，主要特点是轮作时间长，饲养大群的牛、大量的马和相对较少的羊。人们还把某些血干肥料、过磷酸钙、硝酸钠或硫酸铵作为辅助肥料。

18

一部分牛饲料来自啤酒厂、酒厂和糖厂的废物，但各地也有许多土地种植了用作青饲料和干饲料的三叶草。此外，还种植了一些豆科植物，而荞麦仍然是常见的作物。渣滓饼和粗面粉也被用来喂养牲畜。一种用芜菁、野草、牧草加少量油渣饼块混合煮沸一夜的汤汁，是乳牛在产奶期间的早晨常用饲料。像在其他国家一样，城市对鲜奶的需求在不断增长，但人们仍在生产足够多的乳酪和黄油。虽然较明智的农场主采纳了新式牛奶冷却系统、使用了新设计的搅乳器等设备，但

1 一种轮作制；参见边码19。

乳品业的名气仍不怎么样。人们培育了许多优良的大马品种，佛兰芒的牝马几个世纪以来一直享有盛名。然而，比利时却没有生产出足够的谷物来满足自己的需要。

荷兰 荷兰的状况也是那样，尽管在一些耕地上种植了作物，但几百年来在谷物收成上一直处于不能自给的状态，因而一位英国人在1880年认为它完全是一个乳品业国家。鲜奶在城镇出售，乳酪和黄油用于出口和国内消费。制酪场的废料可以用来喂猪。在能够得到酒厂废物和啤酒厂麦芽渣的地方，这些废物都被用作牧养的辅助饲料。夏天用各种青饲料来进行厩养，冬天则以干草和根茎类植物为饲料。瓦尔赫伦岛的马和荷兰的牛，特别是弗里斯兰省的牛，至今都是世界闻名的，一直向许多国家出口，其中包括英国和美国。直到1870年，荷兰还在向英国、法国出口用于屠宰的活牛，但是随着冷藏和冷冻牛肉的竞争，这种产业衰落了（第2章）。供应市场的蔬菜和花的种植变得越来越重要。荷兰的乳牛场主是很聪明的，很早就建立了合作工场，到1882年，至少有3处这样的工场，位于莱顿、荷兰北部的温克尔和霍伦附近。在这些合作工场中，除了追求始终如一的产品质量，某些乳牛场主——例如弗里斯兰省的乳牛场主，还通过采用丹麦式装备和冷冻牛奶的斯沃兹(Swartz)法来努力改进生产方法。

荷兰继续使用健全的方法来开垦主要位于北部和南部的泥煤地。去掉表层土和少量泥煤，即可挖出泥煤作为燃料使用，再把残土加到坑底的少量泥煤中与底层黏土混合起来。荷兰东部的大规模开垦改造出适合发展林业、农业或蔬菜业的土地。在较高的泥煤地上，第一步是挖掘堑沟，挖出泥煤以后，土地便可用于耕作。用沙土和大量的农家肥与残留的泥煤土混合起来以改良土质，接着轮种以下几种作物：(1) 燕麦和三叶草，(2) 三叶草，(3) 黑麦，(4) 芜菁甘蓝、饲料用甜菜和马铃薯，并对每种作物都予以施肥。根据乳品业的需要，荷兰农场主还养了一些牛。某些农场主养了大群的德国羊，并在冬天用甜菜

19

芯、燕麦和亚麻籽饼粉等饲料将它们喂肥。

与其他欧洲国家不一样，荷兰和比利时的农业教育没有得到很好的发展，但在19世纪末也有了进步。

丹麦 丹麦的农场主从19世纪初就一直在稳步前进，他们实行了一种以种植谷物为基础的混合耕作制，这种耕作制与英国的很相像，但两国是沿着不同的道路发展起来的。在英国，对这种体制的成功起重要作用的牲畜主要是供食用的。丹麦的农场主则是为了乳品业而喂养牲畜的，结果他们的农业和低地国家有些相似，特别是在1860年以后。那时，丹麦人认识到在谷物生产上，全世界都能和他们竞争，但在奶和肉类的生产上，他们则处于领先地位。面对着因海外新国家谷物的大量涌入而带来的困难，丹麦的农场主通过选择精良装备来巩固自己的优势，还在黄油、乳酪和咸肉加工厂中进行了许多农业合作。1875年建立了第一家合作乳制品厂，但通常认为1882年在耶汀(Hjedding)建立的合作工厂才是农业合作的开端。农场主们从精心设计的农业教育体系中得到了好处，也许这促进了农业合作的发展。

饲养场的经营形式主要有两种，即乳牛场和肉牛场。这两类饲养场中一方面都种植了一些谷物。可耕地是按一种草田轮作制来耕作的：先是休耕，接着种3年谷物，再种3年牧草。在这种暂作牧场的耕地上，某些农场主使用了非常复杂的混合种子。在其他一些轮作法中，作物的变化多达10种，有时同时种植巢菜和燕麦，有时则同时种植豌豆和燕麦，这两种混种的作物都用作饲料。在1876年，大部分农场主只使用农家肥，但大农场主开始使用过磷酸钙和改良种子，例如“方头大师”小麦(边码15)。

这两类饲养场在另一方面也有些类似。乳牛场主把所有不能卖掉的小公牛和不需用来替换的小母牛都杀掉，而肉牛场主则把所有的小母牛和他们不想喂肥的小公牛都杀掉。除了干草、稻草、胡萝

卜、菜籽饼和棕榈饼，他们还用糠或粗面粉来喂乳牛。这种体制基本上不需要永久牧场，因为乳牛主要是靠春天的谷物来过冬的。在5月和夏季，牛是在牧场上一起放养的。精心设计的器具促进了乳品业的发展。人们用生产乳品的废料来喂猪，还用一些约克郡大白猪来进行杂交。

20

生产肉食牛的饲养场位于日德兰半岛的北部和西北部。人们把许多丹麦牛送到石勒苏益格和荷尔斯泰因，并让它们长大。据说这两个省是草田轮作制的故乡，但较大的农场主在1876年采纳了更进步的不用休耕的体制。在这里，冬天用干草和掺有亚麻籽饼的谷物来喂养牛。人们还在沼泽地上喂养牛和羊，后者一般用科茨沃德长毛绵羊、莱斯特羊和林肯种羊来杂交，而前者则大多具有英国短角牛的血统。一个哺乳期的鲜奶产量大约是700加仑。

瑞典　自1800年前后瑞典靠法规改变了混合间种制以来（就像丹麦前几年的情况那样），直到1870年前后，新土地的耕种一直是生气勃勃的，土地面积增加了两倍。像欧洲的其他地方一样，瑞典在那之后也面临着世界竞争，因而缩减了谷物种植业而发展起乳品业和畜牧业。和挪威相同，这里流行的方法是耕地畜牧化。从广义上来说，这种方法也类似于丹麦的做法。在细节上，瑞典和挪威的农业发展与西欧其他地方的总体情况差不多，只是稍微改变了牛和马的育种法，使之更适应本国的气候和地域。

意大利　在意大利统一期间（1861—1870），意大利复兴运动（*Risorgimento*）中的骚动事件达到最高潮，但这对地主和农民的影响并不大。政治变革没有改变社会结构，农夫的生活仍很困苦。农产品按其产量的大小依次为谷物、饲料作物、酒和油。最重要的作物是小麦，但是还需要进口一些以平衡消费。水稻是皮德蒙特的重要作物，在伦巴第也有种植。意大利到处都种植玉米，而蚕豆则在中部和南部的粗放农业区占据着重要的地位。在这个时期，马铃薯就像甜菜一样，种

植面积不断扩大，但在1900年以后，甜菜的种植面积有了更大的扩展。

虽然在18世纪80年代，意大利就有少量亚麻出口，但自1850年前后，大麻和亚麻的种植面积减少了。1850年，在西西里岛、卡拉布里亚和阿普利亚种植了棉花，不过随着时间的推移，棉花的种植量因受海外竞争的影响而缩减了。油料作物在这个地区是非常重要的作物。

长期以来，北方的牛都是很有名的，畜牧业继续存在于比较粗放的畜牧场上，主要是在波河流域。这里的乳制品是非常好的，一些著名的意大利乳酪，例如帕尔马干酪，几百年来一直闻名于世。在大城镇附近有鲜奶和黄油出售以满足当地人的需要。1850年，意大利约有900万头羊，阿普利亚是牧羊业的中心。那不勒斯国王早就进口了一些美利奴绵羊。尽管存在海外竞争，但意大利的牧羊业没有像其他国家那样缩减，反而发展得更好了，1900年羊的总头数比1850年有较大的增长。到处都饲养山羊，特别是在南方。意大利丝绸工业具有悠久的历史，但在19世纪因灾害而缩减了。

21

起初，统一的意大利政府对农业不太重视，但后来像其他地方一样，也增设了实验和研究机构，还为发展农业教育做了一些努力。大约从1870年开始，世界谷物市场的建立引起了价格下跌，因而从那以后，面临困难的农民便大规模移居。19世纪80年代，移民主要来自北方，90年代的移民则来自南方。很难说意大利的农业在这关键性的半个世纪里取得了足够多的进展，以使国家能够应付新的情况。

1.6 热带地区的农业

运输业的发展使温带新国家的农场主能把他们的粗放农产品运到欧洲，大多数人口众多的热带国家的产品也同样可以向欧洲大量出口。在

17世纪就已引进的茶、咖啡、可可这些饮料(第Ⅲ卷，第1章)，到了19世纪已被认为是必需品。东印度群岛和西印度群岛的砂糖也被越来越多地消费，这就需要发展很好的机器来加工它(图6)。从19世纪初期起，热带的甘蔗就面临着温带甜菜的竞争，但直到19世纪末期，甜菜糖才开始取代甘蔗糖。长期在意大利和西班牙某些地方生长的稻米也从远东进口了。香料也是很早就从远东进口的物品，油则是从几种热带植物中榨取的。来自西印度群岛和其他地方的香蕉是一种新奇的水果，但不久以后，其他水果也接踵而至。然而，除中国人和白人种植者对农业进行了某些改革以外，大部分热带农场都还保持着古老的传统。茶叶的出口就像运茶的快速帆船一样著名。但不久以后，远东就受到印度、锡兰和爪哇岛的挑战。印度的阿萨姆邦从1869年起开始出口茶叶，锡兰在1875年后也出口茶叶了。1909年，印度尼西亚的爪哇岛上有5万英亩土地种植了茶叶。当白人种植园主先修

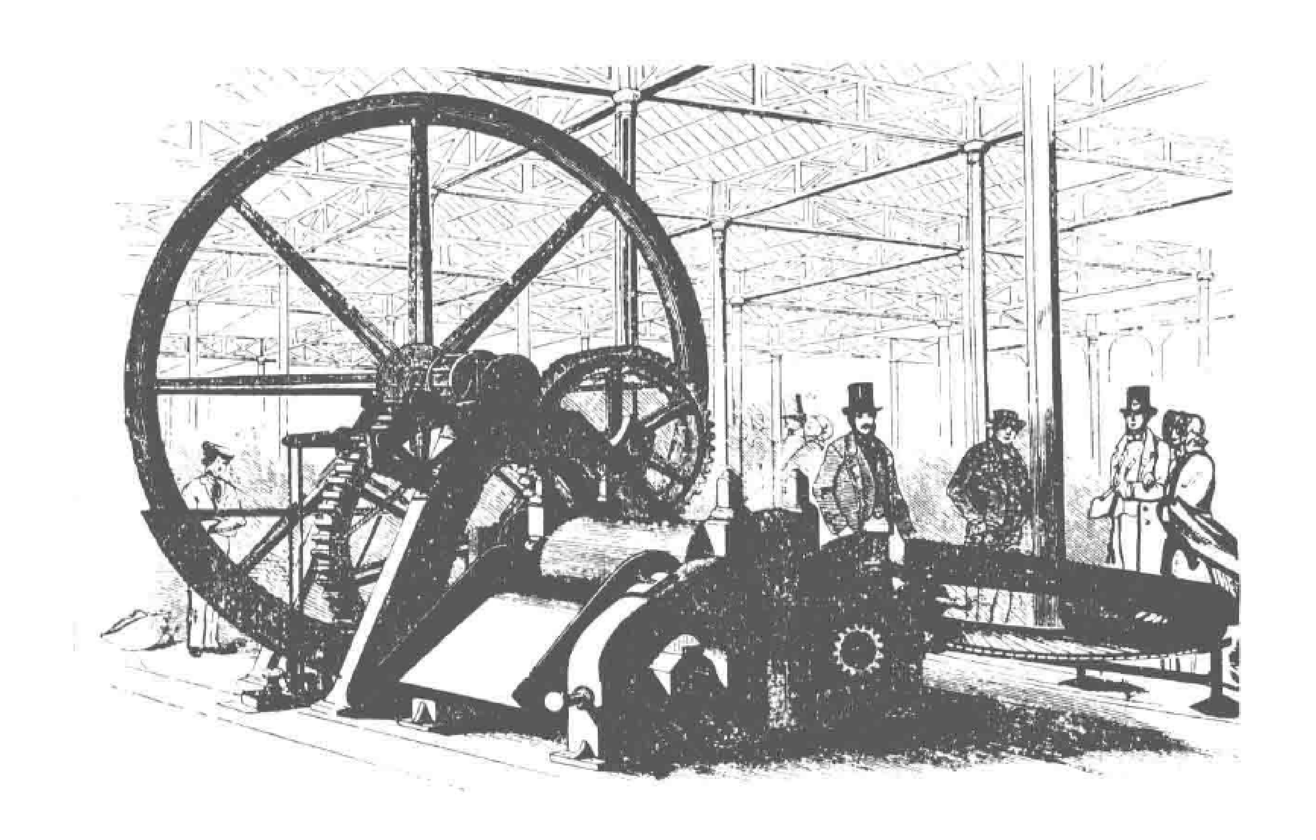


图6 鲁滨逊(Robinson)和拉塞尔(Russell)的蒸汽甘蔗榨汁机，约1850年。发动机、齿轮和榨汁机被装在同一个基座上，从而使设备可以移动。

22 筑了公路，并成为最早在锡兰无人居住的高原地区定居的居民时，他们就从事咖啡种植业。后来，一个在1837年到达锡兰的种植园主采纳了西印度群岛的生产方法，他预料种植的所有作物都能找到很好的市场，因为1843年奴隶解放以后的西印度群岛劳动力不足，产量有所下降。结果，锡兰种植了大量的咖啡，但不幸的是，灾害和瘟疫影响了咖啡的生产。1870年，咖啡出口量达100万英担，但到1905年就降到了微乎其微的数量。这可能是因为他们将咖啡树种植在不适宜其生长的土壤中，而且耕作技术也不十分科学。金鸡纳树是一种取代咖啡的作物，不过到1900年就已经被人们放弃了。这样，茶叶就变成了新的主要作物品种。

土生土长在热带美洲的可可，于19世纪下半叶在热带美洲和西印度群岛上种植。1879年黄金海岸引进了这种植物，但到1887年时，政府仍进口可可以补充国内的需要。而到1893年，黄金海岸大约出口了3500磅可可，1900年的年产量则已上升到了125万磅。1874年，尼日利亚当地人的首领从斐尔南多波岛引进了这种植物，在1914年即第一次世界大战爆发前夕，那里也出现了与黄金海岸类似的发展情形。

甘蔗种植业生产的糖与甜菜种植业生产的糖在数量上大体相同。
23 甘蔗在热带地区相隔很远的地方都有种植，西印度群岛和南美的圭亚那海岸到处都有，而且是路易斯安那、爪哇、昆士兰和夏威夷的主要产品。1852年，古巴、爪哇和夏威夷有了大种植园和糖厂。但是在英属西印度群岛，小种植园占主要地位，每个小种植园都有自己的工厂。到19世纪末，印度已不再出口糖。

这50年来，甘蔗技术改进主要还是体现在制糖方面，而不是在种植方面，虽然在这方面也有一些进步。1791年，“博爱号”(*Bounty*)的布莱船长(Captain Bligh)把“奥塔海特”(Otaheite)甘蔗或“波旁”(Bourbon)的甘蔗带到了西印度群岛，但圭亚那的“德麦拉拉”

（Demerara）甘蔗在1892年成了西印度群岛的标准甘蔗品种。自1840年以来，“奥塔海特”甘蔗在西印度群岛种植失败，或者说它遭到了所谓“消失”的厄运，稍后在巴西和波多黎各，甘蔗也遭受到了同样的厄运，其他品种则很好地保存下来了。1866年，巴巴多斯的政府研究机构培育出了一些新的甘蔗品种，爪哇也培育出了其他一些新的甘蔗品种，但正如前面提到的那样，奴隶的解放使西印度群岛种植园主的劳动力匮乏。黑人不想再从事农业，而地主想要自由的劳动者。种植园主由于没有改变旧思想而使种植产业每况愈下。一些甘蔗种植园变为牧牛场，另一些则由于一时受到本国市场对外国蔗糖征收重税的垄断措施的鼓励仍然种植甘蔗。劳动力短缺也波及了圭亚那和其他地方。东非用印度人来补充劳动力，昆士兰则用夏威夷土人“黑奴”和一些中国人来补充劳动力。

香蕉最初是在1870年从牙买加出口的，有人认为这种水果可能起源于印度。加那利群岛的居民于1516年就在他们祖先种植大麦的地方普遍种植了香蕉，使它成为一种主要作物。在1550年以前，香蕉已普遍种植于西印度群岛。1900年，热带中美洲的几个所谓的“香蕉共和国”也种植了香蕉。

棕榈油从1772年起经利物浦常规性地进口到英国。这种油是从森林中茂盛生长的野生棕榈树上得到的。1851年，棕榈油的进口量已达3万吨，但从1860年前后起，这种贸易面临着美洲石蜡的竞争。棕榈油的采集完全依靠当地人的手工操作，据说在这种采集过程中他们浪费了许多油。1887年，尼日利亚的拉各斯建立了植物园，其他植物园也相继建立，在1889年到1890年间还建立了一些实验站。

冈比亚于1830年首次出口了花生。这些花生部分是在冈比亚以外的地方种植的，或者是由那些来这里种完两三熟作物后就走的农场主种的。多年来，冈比亚的大部分产品都运到了法国，1859年的出口总量达到了1.5万吨。热带和亚热带地区还生产其他油料作物，如

24

锡兰的香茅和许多用植物制得的香水和香料等。

1.7 小结

1850年至1900年，农业出现了许多技术上的进步。例如，发明了新的更为有效的土地排水方法，培育和繁殖了新的更好的种子品系，牲畜的饲养也取得了进步，发现了供给动植物营养和控制灾害的新方法。在秘鲁的岛屿上、在智利、在欧洲和非洲，开发了新的肥料来源，新的更有效的农业工具和机械也被设计出来。蒸汽被用来牵引和驱动大量的谷仓机械。在没有使用蒸汽机的一些农场里，强壮的牲畜提供了较好的牵引力。尽管有了这些进步，但整个西欧还存在着农民租借地，英国和美国的部分地方还存在着小农场，那里的人们为了微薄的收成，采用简单的、传统的、费力的方法从事着艰苦的劳动。

以前空旷的北美和南美以及澳大利亚和新西兰地区，如今都已被人们开发利用，生产了大量的谷物和肉类，后来又生产了乳制品，逐渐取代帆船的蒸汽船能够很容易地把这些产品运送到欧洲。热带资源得到了开发，从前来自这些土地上的奢侈品如今变成了日益增长的工业人口的必需品。旧大陆的农场主发现自己面临着从前并不存在的激烈竞争，他们中的许多人借助科学和工程技术成功地适应了这场挑战。

参考书目

Barrett, O. W. 'The Tropical Crops.' Macmillan, New York. 1928.

Carrier, Elsé H. 'The Pastoral Heritage of Britain, a Geographical Study.' Christophers, London. 1936.

Faber, H. 'Co-operation in Danish Agriculture' (Eng. adaptation of 'Andelsbevgelsen i Danmark' by H. Hertel). Longmans Green, London. 1918.

'Farmers in a Changing World.' U. S. Department of Agriculture Year Book. United States Government Printing Office. 1940.

'Farming in New Zealand.' Department of Agriculture, New Zealand. 1951.

Frauendorfer, S. von. 'Agrarwirtschaftliche Forschung und Agrarpolitik in Italien. Entwicklung vom 18. Jahrhundert bis zur Gegenwart.' Parey, Berlin. 1942.

Fussell, G. E. "The Dawn of High Farming in England." *Agric. Hist.*, 22, 83–95, 1948.

Idem. "Home Counties Farming, 1840–1880." *Econ.J.*, 57, 321–45, 1947.

Idem. "'High Farming' in Southwestern England, 1840–1880." *Econ. Geogr.*, 24, 53–73.1948.

Idem. "'High Farming' in the North of England, 1840–1880." *Ibid.*, 24, 296–310, 1948.

Idem. "'High Farming' in the West Midland Counties, 1840–1880." *Ibid.*, 25, 159–79, 1949.

Idem. "'High Farming' in the East Midlands and East Anglia, 1840–1880." *Ibid.*, 27, 72–89, 1951.

Goltz, T. A. L. G. von der. 'Geschichte der deutschen Landwirtschaft', Vol. 2. Cotta, Stuttgart. 1903.

Gras, N. S. B. 'A History of Agriculture in Europe and America' (2nd ed.). Crofts, New York. 1940.

Gromas, R. 'Histoire agricole de la France dès origines à 1939.' Prolibro, Paris. 1948.

Gullander, A. 'Farmers' Co-operation in Sweden.' Crosby Lockwood, London.1948.

Jenkins, H. M. Reports on farming in Belgium and Holland to Royal Commission on Agriculture, 1880, and various essays on Scandinavia and the Netherlands in *J. R. agric. Soc.*, 1875–87.

Krzymowski, R. 'Geschichte der deutschen Landwirtschaft.' Ulmer, Stuttgart. 1939.

Long, J. 'Canadian Agriculture. A Report of a Visit to the Dominion in 1893.' London. 1894.

Macdonald, J. 'Food from the Far West, or American Agriculture.' London. 1878.

Masefield, G. B. 'A Short History of Agriculture in the British Colonies.' Oxford University Press, London. 1950.

Moore, O. K. 'Argentine Farming and the Farm Trade.' U.S. Department of Agriculture, Foreign Agricultural Report, No. 25. United States Government Printing Office. 1948.

Prothero, R. E. (Lord Ernle). 'English Farming Past and Present.' Longmans, London. 1932.

Seebohm, M. E. 'The Evolution of the English Farm.' Allen & Unwin, London. 1952.

Sneller, Z. W. 'Geschiedenis van de Nederlandse landbouw, 1795–1940.' Wolters, Groningen. 1951.

Trow-Smith, R. 'English Husbandry.' Faber, London. 1951.

Wadham, S. M. and Wood, G. L. 'Land Utilization in Australia.' Melbourne University Press, Melbourne. 1939.

Wallace, R. 'Special Report on the Agricultural Resources of Canada.' Ottawa. 1894.

Watson, J. A. S. and Hobbs, May E. 'Great Farmers.' Faber, London. 1937.

Willis, J. C. 'Agriculture in the Tropics.' University Press, Cambridge. 1909.

Idem. 'Recent Progress in Tropical Agriculture... A Course of Lectures given at Harvard University in 1909.' 'Ceylon Observer' Press, Colombo. 1910.

第2章 食品的处理和贮藏

T. N. 莫里斯（T. N. MORRIS）

2.1 食品处理

大多数生食品在通常条件下很快就会变质，除非它们像谷物和豆类那样含有很低的水分，或像苹果那样有结实的皮肉，或像坚果那样有坚硬的干壳。食品变质的主要原因是霉变、发酵、细菌侵蚀以及食品自发的或者说由氧化引起的化学变化。这种变化通常为物理变化，其他原因还有昆虫传染和老鼠及其他动物的破坏（这些原因尽管也很重要，但在这里暂不讨论）。有鉴于此，人类总是面临着储备和保存食品的任务，尽管还没有完全了解其道理，但已利用了各种经验方法来解决食品变质问题。然而，自工业革命以来，随着城市化的进展以及与之相伴的人口急剧增长，特别是在西欧[1]、美国和以欧洲血统为主的那些英联邦国家里的人口急剧增长，这一任务的范围在不断扩大。

这种发展意味着，直接使用土地并直接掌握向自己提供个人和家庭所需要的绝大部分食品的手段的人口比例进一步减少了，需要供养的人数却增加了。一个突出的例子是，英格兰在1801年的总人口不足900万，但到1851年就翻了一番。在我们考察的这段时期的开始阶段，乡村和城市的人口大体相等，做面包所需的谷物只有大约1/4

1 法国是一个例外。

是进口的。到1901年，人口达到了3250万，增加的几乎全是城市人口。实际上，有些农村的土地还出现了缩减。

在食品有益于健康的性质和营养价值不受损害的前提下，人们为方便销售而进行的食品分级、加工、保存、包装和贮藏，统称为食品的处理。这些工作从前是在家庭和小企业里完成的，如今已越来越多地移到大工厂里去完成了。这一概念适用于对包括牛奶在内的生食品的处理、对咸猪肉和熏火腿的传统加工和乳制品（主要是乳酪和黄油）的制作，以及罐装、冷冻、脱水等一开始就需要专门的工厂和设备的更现代化的处理过程。

近代食品生产像其他工业活动一样，充分利用了科学研究和机械化设备，而且因为食品的性状是如此多样化，食品研究现在已经发展成为一门专门的学科，即食品科学——化学、物理学、生物学、生理学和营养学的综合。因此，食品技术实质上是食品科学在食品处理上特大规模的（尽管不是必然的）应用。食品科学的内容不仅包括发现新的工艺技巧，而且包括比较全面地理解和控制传统的操作方法。

从这种角度来看，1850年的食品技术只是处于萌芽阶段，而1851年的伦敦万国博览会则可以说是一个时代开端的标志。对外贸易在某种程度上增加了可得到的食品种类，改进了的本国农业方法，也使人们能全年生产新鲜的肉类，而不用在秋天屠宰大部分牛并用盐腌藏牛肉，不过食品的处理方式长期以来并没有太大变化。人们把活着的牛送到城里屠宰；谷类加工是在一些中小型乡间工厂里完成的，它们的动力由风或水提供；许多面包是在家里或面包店里烤制的；乳牛则在大城镇及其周边地区饲养；许多旅馆以及私人户主和农场主酿造着他们自己的啤酒。虽然在拿破仑战争时就发明了罐头食品，但它没有在普通市民中产生任何影响，仅仅在军队和探险队中使用。虽然当时人们已经掌握了机械冷冻的原理，但还没有把它应用于食品。

无机化学、有机化学以及物理学方面取得了重大的进展，特别是在19世纪30年代和40年代期间。对生物学的研究也变得相当活跃，而且引起了广泛兴趣。蒸汽机大大促进了其他机器的发展，铁路铺设了，蒸汽船的航行开始了，许多工厂建造起来了。美国和英国的殖民地已能出口食品以换回工业制品（第1章），英国还废除了目的在于保证本国供应和保护本国生产者的控制小麦进口的《谷物法》(边码10)。

28

然而经验主义在食品技术上仍占统治地位，食品处理的许多方面仍然采用非常古老的技术。大自然限定了我们食物的性质，几百年的实践经验告诉人们如何根据自己的口味和身体需要去处理食品。幸好，正如关于维生素的实践经验和研究所表明的那样，口味和身体需要这两者是互相关联的，色、香、味俱全的东西通常是有营养的。于是，人们的主要着眼点——尤其是在刚开始时——自然是放在运用机械手段上，放在发明那些适于采用经过长期考验的方法和配方的设备上，以进行大规模的生产，但所有这些很难说是真正的食品技术。当取得成功的条件一度由经验来证实的时候，甚至像罐装和冷冻那样较新的加工方法也是如此时，简而言之，正是工程师和实际工作者首先拥有了主要权力。实际上，科学几乎没有占据主导地位，因为当时的第一流科学家主要专心于建立科学知识的体系，这是为了科学本身的利益，而不是为了它的直接实用价值。

在19世纪的最后25年里，伦敦城市同业公会技术教育促进会(City and Guilds of London Institute for the Advancement of Technical Education)实施了科学学科的考试，技术学校和学院也在1889年的《技术教育法》(*Technical Instruction Act*)颁布以后开始发挥作用。然而，在这以前皇家艺术协会已通过讲演和讨论做了大量鼓励应用科学知识的工作。像1886年建立的旨在对酿造工艺进行科学研究的酿造研究院(Institute of Brewing)，以及大不列颠和爱尔兰

全国面包师和甜食师协会（National Association of Master Bakers and Confectioners of Great Britain and Ireland），都雇用了化学家和顾问。然而在1900年以前，只有很少的食品商行拥有自己的实验室或长期雇用化学家，而且直到第一次世界大战以后，科学研究才系统地涉及食品问题，这项工作有的是靠政府部门去做，有的是靠食品制造商协会去做。

从此以后，具有自然科学素养特别是化学素养的食品技师越来越多地占据了管理地位，而且每个有名的食品商行都建立了自己的实验室。但是在1900年，经验主义和经验法则并未被废弃。甚至到1911年，在《面包制作技术》（*The Technology of Bread-making*）这部里程碑式著作中，W. 杰戈（W. Jago）和W. C. 杰戈（W. C. Jago）引用了一位一流面粉厂主的私人通信，这位面粉厂主在信中认为，实验室工作的作用是“保持和经济的成功运作以及高质量的稳定产品的一个必要条件”。然后，W. 杰戈和W. C. 杰戈写道，化学家构成“机械的一个新轮子，这个新轮子并不受到对其日常运行负责的那些人的欢迎”，即并不受到面粉厂工头和其他人的欢迎。两位作者极力主张雇主对化学家应持耐心和同情的态度，而化学家则应变得老练些。

29

在这一段概述之后，我们来谈谈处理食品的各种加工方法。这些方法可以粗略地分为“传统的”和“现代的”两大类。

传统的食品加工方法包括：晒干和风干；腌制和烟熏，有时与晒干和风干结合起来进行；用醋或醋和盐来腌制，有时还加些糖；用糖来保存食品；用酸或酒精发酵来保存，如乳酪、泡菜、葡萄酒和啤酒。经过这些方法处理的食品在外观和味道上通常都和原物大不相同，但它们不仅能得以保存，而且更适合人们的口味。

现代的食品加工方法有罐装、冷冻、脱水（也就是在科学控制的条件下，在专门制造的设备里利用燃料发出的热量来进行干燥）以及借助于有毒化学品来保存。在这些加工方法中，衡量处理是否成功

的尺度通常是用加工好的食品与新鲜的原料相比，或者与原料经烹饪或其他制备方法后供正常食用的一些食品形态相比，看其相似程度如何。

应该注意的是，前面所述的所有方法实质上是为保存容易腐烂的食品而采取的方法，也就是说，它们的目的是抑制、消灭或消除各种导致变质的因素。另外，我们还有像谷物加工，啤酒酿制，面包制作、糕点、饼干和甜食制作等古老的加工方法，在这些情况下，原料得到了很好的保存，而设计这些加工方法的目的是使它们转变成适于食用的状态。

2.2 面粉加工

从传统的加工方法开始，到以完全或几乎完全属于我们所考察的这一时期成就的加工方法告终，来比较详细地阐述各种食品的加工方法是最方便的了。

1850年，石磨加工是英格兰使用的唯一方法，大约就在那个时候，在磨石的驱动、平衡和冷却方面进行了许多改进。为了筛出最细的面粉，人们用丝绸网纱筛布代替了亚麻线筛布或羊毛筛布。在英格兰式磨面法“低位磨面法”(low milling)中，两片磨石从一开始就紧密接触，因而碾磨过程是连续的，这样就可以用英格兰的优良小麦加工出又细又白的面粉。这种英格兰小麦含有软的胚乳(占谷粒的85%)和硬的麸皮(占13.5%)，碾磨过度或使用劣质小麦，都会使面粉中含有麸皮，并且破坏淀粉粒，用这样的面粉就会做出黑面包。由于从麦胚中释放出来的淀粉酶对淀粉发生了作用，这种黑面包既重又黏。用“低位磨面法”来碾磨坚硬的匈牙利小麦和北美小麦时，因为这两种小麦中的麸皮和胚乳都是易碎的，所以也会磨出夹带大量麸皮粒子的黑面粉。凡是用石磨来磨面，占谷粒1.5%的含有麦油和大量维生素B_1的麦胚和胚鳞就会在磨面过程中掺入面粉里去，从而也会掺入面包中去，

如果保存的时间过长，用石磨磨出的面粉就会因麦油的氧化而变质。

在欧洲大陆，特别是在匈牙利，采用“高位磨面法”(high milling，一译“精磨法”)克服了小麦易碎问题。这种方法最初使两块磨石相隔足够大的距离，使它们仅仅能压碎或者说“杀死”小麦，然后再分级地使它们靠拢，而且在每级磨完后都要筛一下碾过的东西。这种磨面法可以生产出人们非常需要的又细又白的面粉。

大约在1840年，匈牙利引入了“滚轴式磨面法”，用以代替“高位磨面法”。滚轴式磨面是让谷物在几对接续排列的带有特殊螺旋沟槽的滚轴之间通过，紧接着再在几对普通滚轴之间通过来进行磨面。这种磨面法像“高位磨面法”一样也是分级(时有“中断”)进行的，而且能用同一种小麦生产出5种或6种不同质量的面粉，最后的结果是将麸皮几乎完全从面粉中分离出来。麦胚和胚鳞的组织与胚乳不同，它们也是一种被分离出来的成分，因而面包里也不存在麦胚和胚鳞的成分。美国不久后就采用了“滚轴式磨面法”，而且这样生产出来的面粉比用石磨法磨制英格兰小麦生产出的面粉更白，更受人们欢迎，因而很快就大量向英格兰出口。这种面粉一般要比用英格兰小麦制成的面粉“更有劲”，也即用它和成的面比较黏，吸收的水分更多(这样每袋面粉可以生产更多的面包)，而且不受油和麦胚中淀粉酶的影响，不容易变质和生成麦芽，还可以用它制成又高又好吃的“塔形”(piled)面包。

大众的需要以及英格兰在小麦自给能力上越来越差这个事实，迫使能够担负得起设备改造的英格兰工厂主采用了“滚轴式磨面法”，从而免遭破产或被大企业所兼并。这个进程始于19世纪70年代后期，而到了1891年，卡特(J. Harrison Carter)已能在(皇家)艺术协会的演讲中指出英格兰的滚轴磨面、清理和精制技术是非常先进的，并声称英国的面粉厂是世界上最好的。除了在清理、选取(筛选)和按照面包师的要求混合小麦方面不断有所改进，在1890年至1900年

31 间，磨面方法几乎没有什么重大的变革。进入20世纪以后，在漂白面粉和掺入“添加剂”以增加面团强度方面才开始有人取得专利。不过，人们早就知道明矾具有这种作用，而且被告知如果不用它就不能将某些面粉制成面包。然而，明矾的需要量竟然使得它在英国遭到禁用［1875年的《食品法》(*Food Act*)］。

2.3 面包制作

面粉加工方面的变革和外国小麦的进口当然会影响面包的质量，大约从1880年开始，面包师们就想方设法地获取适合做各种产品的面粉。为了制作面包，他们希望得到有劲的面粉，用来制作高高的具有精白面包心的塔形面包。就实际的烤制操作而论，一直到1900年，小的英国面包房还不懂得机械化。但在大城镇的面包房里，大约在1850年就出现了发面和揉面机器，而且其他国家也采用了这些机器。烤制前用来切割、称重和模压面包的自动化机器的制造遇到了较大的困难，因而它们很晚才问世。大约在1850年，也是在大面包厂里，用蒸汽管道加热的珀金斯(Perkins)炉开始代替老式的煤炉或焦炭加热炉。这些卫生而又容易控制温度的蒸汽加热炉仍不断有些小改进，其中一种改进是在炉子中增设一个拉板以形成炉底，这块拉板能被拉进拉出以装料取料。在装入形状整齐划一的原料的情况下，这种拉板最起作用。从前，往往是用带长柄的扁锹、扁铲来装料取料的，这样烤制面包不但时间较长，而且为了避免烤得不均匀，通常要使炉子前部的加热温度比后部高一些。

除了对面粉强度进行研究和发明了能由面包师去实施的强度检验法外，人们还做了大量工作，改进所用酵母的纯度和活性，使它以方便的形式出现。这种酵母最早主要是作为酒厂酵母从荷兰和法国进口，起初它含有淀粉，这是作为酵母的干燥剂和助凝剂而添加进去的。由于改进了制作和提纯的方法，克服了压制酵母块的困难，

到我们所论述时期即将结束时，市场上卖的酵母大多数只含纯粹的酵母细胞了。

2.4 腌制和烟熏

通过腌制和烟熏加工来保存肉和鱼的方法是非常古老和普遍的(第Ⅰ卷，第11章)。事实上，罗马时代的一些腌制咸猪肉的方法与英国的一些古老的干腌加工法非常相像。在这些方法中都没有提到使用硝石，然而在1850年以前，腌制用的混合物中都已含有硝石。大概从英国与印度的早期贸易时代起，西方就使用了硝石。在印度，硝石是土壤表面风化的产物。咸猪肉上的粉红色就是因为使用了硝石的缘故，毫无疑问，硝石因此而受到人们的欢迎。

32

在20世纪20年代后期腌制工业大发展以前，除了艾尔郡腌制法是把猪肉泡在盐水罐内来腌制外，英国生产的咸猪肉大部分是干腌的。在丹麦，罐内泡腌法颇受欢迎，因为这种方法既快速又最适合于大规模生产。现在，它几乎已变成了普遍采用的方法。

在1850年以前，人们仅在冬季腌制咸猪肉和火腿，而且腌得非常咸，也就是说肉内含有9%的盐，瘦肉所含的盐分比肥肉要多一些，这是贮藏食品的需要。但大约从1850年开始，人们就可以全年腌制咸猪肉了，其方法是在加冰冷却的地窖里腌制，后来(大约在1880年)则采用了机械制冷的方法。这样就可以全年腌制比较淡、比较瘦的咸猪肉了，其中的盐分仅占5%左右，从而更适合于经常坐着工作和生活的城镇居民的一般口味和营养需要，因为他们不需要太多的脂肪。

1900年，虽然在很大程度上已经以工厂规模组织生产，但仍然使用着传统的生产方法。1925年前后，英国对腌制咸猪肉还没进行过系统的研究，其他地方也研究得很少。

2.5 乳制品

在分别论述各种乳制品之前，应该先谈谈影响所有乳制品的因素 19 世纪 70 年代，经济萧条冲击英国的农业，尤其冲击着长期以来一直是农业主要支柱的谷物种植业（边码 10）。此时许多农场主把注意力转向了诸如生产乳制品和种植制作果酱用的水果类食物生产活动因为这些产业的前景似乎比较好。因此，1876 年在伦敦举办了乳制品展览会（Dairy Show）的第一届年会，同时还成立了英国乳制品业主联合会（British Dairy Farmer's Association）。这两个组织通过演示新的方法和器械以及传播这方面的各种最新信息，大大促进了乳制品工业的发展。

牛奶　有关牛奶的主要问题是能否在它变酸之前把它运出去。1860 年之后，随着铁路的发展，人们才开始从农村往城镇运送牛奶。就英格兰而言，1865 年发生的那场牛瘟（边码 12）刺激了运奶业的发展，因为牛瘟迫使伦敦和其他一些大城镇的乳品商在全国到处寻找牛奶。大约在这时，水冷式冷却器问世了，借助这种冷却器，牛奶便可在乳牛场或其附近被冷却，这种方法非常有助于确保牛奶被新鲜地运到目的地。长期以来，牛奶是被装在镀锡钢板罐内运送给乳品商的，这种罐子一直可以使用到镀锡层剥落为止。但是到 1900 年前后，人们开始对经过巴氏灭菌法处理的瓶装牛奶有了需求。

33

采用巴氏灭菌法的目的主要是防止结核病的扩散，因为这种病能通过牛奶传播。美国的研究表明，在密封的巴氏容器内将牛奶加热至 140℉达 20 分钟，既可以灭菌又不会损害牛奶的味道和乳脂。经过巴氏灭菌法处理的乳脂仍能用来制作黄油。

黄油　这一时期在制作黄油机械装置方面的最大进展，也许要数瑞典工程师和科学家拉瓦尔（Gustav de Laval）于 1877 年发明的离心式乳脂分离器了。这些机器大约在 1880 年投入使用，较大的乳制品厂迅速采用，从而节省了许多劳动力和空间。1890 年，贝切托尔谢

姆（von Bechtolsheim）进一步改进了这种机器，方法是加设一些所谓的阿尔法圆盘，在滚筒里从上到下一层层地放置，把滚筒的内部分成若干个薄层，从而能更快更好地分离乳脂。利用离心装置来代替一种叫"黄油工人"（butter-worker）的手工装置以去除黄油中的乳清，这是机械方面的另一个进步，人们认为它除了动作更快，还改进了黄油的粒度特性。

在离心式乳脂分离器发明之前，分离乳脂的方法是把牛奶倒在一些用瓷、马口铁皮或搪瓷铁皮制成的大浅盘里滞留一段时间，直至所有的乳脂浮上来。然后，这些乳脂通过一个穿孔的碟子或者漏勺，倒入一个乳脂坛里保存1—3天，使之熟化，再搅制成黄油。由于用未熟化的乳脂做成的黄油味道不好，到了19世纪末，人们开始使用各种培养发酵剂来制作黄油和乳酪（边码34）。

从严格的技术方面来看，最重要的技术进步要数1890年前后发明的一种快速而简便的检验方法，它可在几分钟内测定牛奶中的乳脂含量。这种方法最初是由威斯康星州农业实验站的巴布科克（S. M. Babcock）提出的，后来又由苏黎世的格伯（N. Gerber）加以改进。这样的测试对评价牛奶的质量和防止往牛奶里掺水都是极为有用的。

乳酪 大部分地方性的乳酪早在1850年以前就已存在，制作方法完全是传统的。甚至在同一个地方，由于制作者的熟练程度和判断能力以及他们所采用的配方不同，乳酪质量也会相差很大。 34

19世纪50年代最著名的"切达"干酪[1]（一种英国干酪）的制造者之一是萨默塞特郡马克斯伯里（Marksbury）的哈丁（Joseph Harding），经人劝说后，他把他的制作方法传授给艾尔郡的生产商，其中最重要的规定是在添加干胃膜产生凝乳之前，用陈乳清做下一批乳酪的发酵剂，这成功地使苏格兰切达干酪名扬天下。

1 叫这个名字是因为它的制作方法与萨默塞特郡切达（Cheddar）地区制作乳酪的方法一样。如今，真正由农户制作的切达干酪是很难获得的，它不同于而且优于乳制品厂或奶油干酪厂生产的切达干酪。

值得注意的是，在切达干酪的家乡、英国的西部，工厂体系并没有取得进展，而加拿大、美国和澳大利亚的乳制品厂制作的乳酪却都是切达型的。1889 年，艾尔郡乳制品联合会（Ayrshire Dairy Association）请德拉蒙德（R. J. Drummond）为他们传授加拿大人的乳酪制作方法。当时已有了一些细菌学方面的知识，德拉蒙德批评哈丁总是加酸乳清发酵剂的制作方法。他认为，哈丁的方法的不妥之处不仅在于在牛奶已经足够酸的时候进行，还在于会不断地影响下一批乳酪的质量。他还批评了温度控制方法和干胃膜添加数量的测量方法。德拉蒙德采用一种标准的干胃膜，而且不是一开始就使用发酵剂，而是完全依靠控制做乳酪时的牛奶温度，以确保熟化所需的正确酸度来决定是否需要使用发酵剂。他用烙铁试验法来测定熟化程度，具体做法是把烙铁放到一块凝乳上以榨出凝乳中的乳清。如果情况良好的话，凝乳就会粘到烙铁上，而且在拉开烙铁时会将凝乳抽成许多长丝。直到 1899 年，人们才用滴定法来测定酸度。

1895 年，艾尔郡开始详细研究乳酪的熟化问题。这些详细的研究是格拉斯哥技术学院（Glasgow Technical College）的德拉蒙德和坎贝尔（J. R. Campbell）在研究苏格兰的切达干酪变色问题时引发的。他们发现，乳酪变色是因熟化期间的外来细菌侵入凝乳而引起的。为了避免乳酪变色，他们在添加干胃膜之前，用乳酸生物体的纯培养产物作为发酵剂。

这种关于如何靠有用的细菌来抑制不需要的细菌的发现是很有价值的，因为它指出了如何确保正确的熟化程度，不过它并不表明乳酸细菌是熟化的原因。后来，美国的巴布科克和拉塞尔（Russell）的研究表明，主要的催熟剂是酶而不是细菌。1897 年，他们在牛奶中发现了一种酶，能作用于酪蛋白而生成类似于熟化了的乳酪中出现的那种分解产物。他们还发现，干胃膜里的胃蛋白酶是通过其蛋白水解作用而促进乳酪熟化的。这些酶与细菌不一样，它们能在 25℉—

35

45 ℉的温度范围内起作用。尽管在这样低的温度下制出的乳酪味道比通常的要淡一些，但是当乳酪的温度变为通常温度时，这种情况就更明显了。这一点与在山洞里制作切达干酪的旧式方法是一致的。据说真正的切达干酪都是在切达村的山洞里熟化的，这个村庄就因此而有名了，而切达干酪的名字也由此而来。

其他乳制品 除了黄油和乳酪，乳制品还有炼乳、全脂奶粉、脱脂奶粉、用乳清制成的乳糖和工业用的酪蛋白。所有这些产品都是在这个时期开始制作的。

炼乳工业几乎是和制作黄油、乳酪的工厂体系同时诞生的，尽管牛顿（Newton）早在1835年就获得了一项英国专利，霍斯福德（E. N. Horsford）在1849年已用添加乳糖的方法来制作炼乳。1853年，美国康涅狄格州利奇菲尔德县的博登（Gail Borden）在经过10年的实验以后，申请了一项关于真空制作炼乳的专利。用这种工艺方法制作炼乳时，空气自始至终都被排除在外。这项专利批准于1856年，博登在经过两次失败之后于1860年在纽约州开办了一家工厂。博登在广告中声称，他的炼乳“是几乎完全脱水和没有任何添加物的新鲜乡间牛奶。医学科学院委员会（Commitee of the Academy of Medicine）认为这种炼乳纯净、可靠而且便宜，在乳品贸易记载中是独一无二的”。

虽然这种加工方法是相当粗糙的，而且产品也不尽完美，但在美国南北战争期间，它是很有价值的，因而从那时起这种制作方法便迅速传开了。

早在1856年，博登还制作了罐装甜炼乳，这是19世纪80年代以前唯一一种用密封罐包装的炼乳食品。这种炼乳虽然在微生物学意义上没有消过毒，但里面却含有足够的糖，有利于保存，而未加糖的炼乳是像普通牛奶那样散装出售的。瑞士的迈恩博格（J. B. Meyenberg）最先在1866年建立英瑞炼乳公司（Anglo-Swiss Condensed Milk Company），生产消过毒的罐装淡炼乳。从1880年至1883年间，

在这家公司工厂工作的迈恩博格一直搞实验，最终取得了成功，采用在一个旋转的压力容器里消毒炼乳的方法生产出了令人满意的产品。1884年，他申请了一项专利，并在一年后移居美国，在伊利诺伊州的海尔维第亚炼乳公司（Helvetia Milk Condensing Company）工作不久，他便在美国的中西部和太平洋沿海创建了许多工厂。到1900年，炼乳已经成为一种重要的产品。然而，它仍有一种"煮过"的味道，而且直到1900年，真空罐（图7）仍是当时所用的唯一一种蒸发器。

36

奶粉 英国于1855年批准了第一项关于奶粉的专利。这种加工过程是先往鲜牛奶里放入一些纯碱，在一个敞开的蒸汽罐里将鲜牛奶蒸发到类似干面的程度后加入蔗糖，再把它们放入滚轴间压成条状，经过进一步干燥并磨成粉状。放入一些碱的目的是使酪蛋白更容易乳化，糖能在最后阶段中使这些奶粉形成颗粒状。后来的改进是利用真空罐来代替敞口罐以使牛奶脱水，用这种方法制作的脱脂奶粉要比全脂奶粉更好一些。

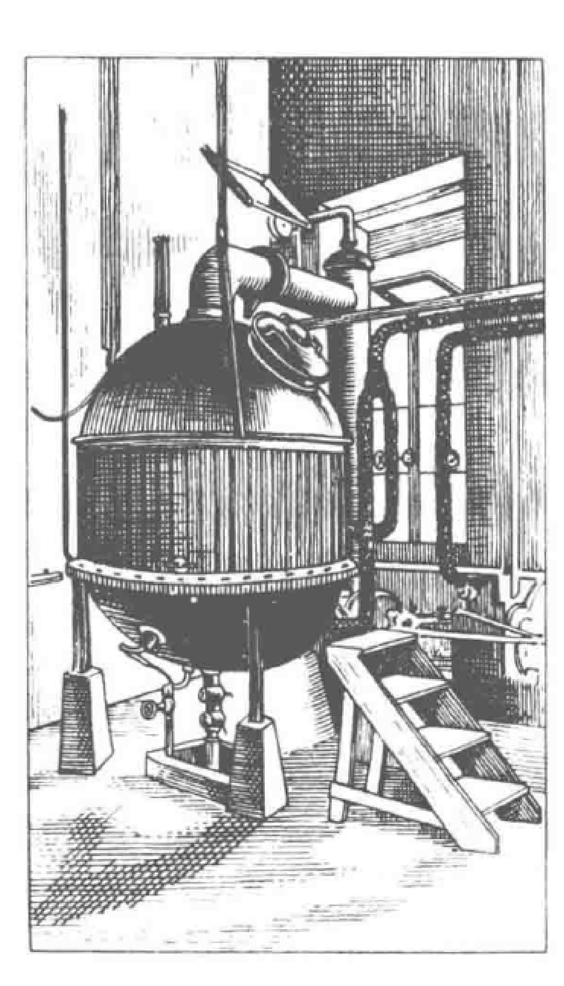


图7　制作炼乳的真空罐，约1890年。

麦乳精 麦乳精是在1883年发明的一种流行的奶粉制品，并于1887年首次在市场上销售。它是用掺有一定比例的麦精和面粉的牛奶制作的。

1898年，美国市场上出现了不加任何添加物的奶粉。几乎与此同

时，各种类型的薄膜（滚轴）干燥器被授予专利。不久又出现了喷雾式干燥器，加之装罐方法也得到改进，因而奶粉的质量不断提高。

2.6 饼干

制作饼干的主要问题，是在大规模生产中如何把握原料的操作性问题，而不是我们以前所考虑的那些问题。制作饼干所用的配方与小规模试验所确定的配方相比差别很小或根本没有差别，也不像制作面包那样需要控制生物过程，更不像制作罐头和冷冻食品那样需要开发未知的领域。不论生产规模怎样，都必须年复一年精确地重复生产出大众所熟悉和喜爱的饼干。

饼干工业的进步，不仅在于确保产品质量标准，而且在于提高生产效率和扩大生产规模，同时还要发明出新的受人欢迎的配方。发明新配方主要是熟练厨师的职责，而不是食品工艺师的职责，虽然通常很难说出这两者的界限在哪里。

在这一时期的50年里，人们引入了一些用来混合配料和揉面的机器。揉好的面团接着被压面机滚压成合适的厚度，然后再通过其他一些机器被切成所需的尺寸和形状，并印上图形、字母等。通常将切割成型的生面放在盘子上，然后在温度适当的炉子里以可以控制的速度连续不断地加热，接着再进入包装间。

在这样的工艺过程中，产品的一致性完全取决于维持相同的条件并使用相同的原料。制作饼干的面粉最好由硬度低的英国小麦磨制而成，这种面粉的提取率比较低，在选择和混合面粉时需要有较高的技能，黄油、糖、牛奶等其他原料也必须达到规定的标准。正如我们看到的那样，到我们考察的这一时期即将结束时，人们才借助于实验室中的实验并利用仪器和自动装置来鉴别食品原料和控制加工过程。

2.7 腌渍食品、调味品、调味汁和糖腌食品

在1850年，这些贮藏食品一般都是在家里制作的，只有少数几家高级食品厂以较小规模进行生产。高级食品厂生产的一些腌渍食品和调味汁常常是根据有名的传统配方或由知名厨师来制作，而且还具有装饰精致的包装。后来，随着世界形势的变化以及合适的原料变得更容易获得，贮藏食品的生产规模逐渐扩大，价格也变得比较便宜。

如前所述（边码10），在19世纪70年代，糖腌食品的工业生产得到很大的推动，因为当时谷物生产和一般的农业都很萧条，遭受压力的农场主被迫去寻找像水果栽培和乳制品生产这样的其他收入来源格拉德斯通（Gladstone）等政治领袖的确劝说过人们去这样做，热情的自由党新教教徒开办了一些最早的果酱厂也不是偶然的。他们发现他们的顾客主要是在工业区，特别是在英格兰北部，而且随着消费者的增加，他们的生产也兴旺起来。

起初，他们的生产活动在很大程度上受水果收获季节的限制，只在冬天出售夏季、秋季生产的产品。但是，为了保留常聘工作人员他们不久又转而增加生产橘子酱（最初是由苏格兰的一家工厂在1797年制作的）、甜馅、圣诞布丁、餐桌果冻、柠檬酪和色拉酱等食品最后到19世纪末又开始生产水果罐头。他们还利用在可以密封的大石罐和石桶里进行加热处理的方法来保存大量的果肉，使果酱的生产制作不受季节的限制。当然，用这些果肉制成的果酱的味道不如用新鲜水果制成的果酱。

38

正像饼干的生产情况一样，这些产品或是基于类似于厨房里所用的那些经过反复试验的配方，或是基于由顾问和一些希望推荐他们想法和经验的人以及希望确保长期被雇用的人所提供的示范和信息。到1900年，虽然大部分制作这些食品的工厂有了自己训练有素的工程师，而且在机械化方面有了很大的进展，但是很少（如果有的话）雇用训练有素的化学家或拥有用来检验原料或成品和进行研究与实验的

实验室。上乘果酱的制作者大概从未听说过果胶这种东西，它是水果中所含的一种能使果酱和果冻凝结的物质，但是他们根据经验知道能够制作出最好果酱的水果种类和条件。他们还知道，不管草莓和木莓的质量多么好，还是需要往它们里面加入一些煮沸的鹅莓汁或苹果汁。在制作果酱的过程中，工人们除了通过观察果酱熬制时出现的外表变化和果酱从长柄金属匙或漏勺上滴落的状况，果酱釜上没有什么可以用来帮助他们选择停止熬制的正确时刻的装置。然而，当1900年前后引进了能够显示达到形成最佳果冻所需的适宜糖浓度的果酱熬制温度计时，技能熟练的工人们仍然愿意采用自己的习惯方法，而且很少出错。事实上，这种温度计往往会因大气压的突然变化而使测量结果发生差错，除非使用者们已经考虑到了这样的变化。

2.8 现代贮藏方法——罐藏法

和传统方法相比，现代的食品贮藏方法对现代人生活方式的发展作出了更大的贡献，而且它对进行现代规模的战争也起到了更大的作用。除了在第二次世界大战后才趋于成熟的脱水干燥法，所有这一类贮藏方法都是在我们所讨论的这个时期内确立的，并且发挥了重要的作用。尽管当时还没有形成批量生产线，但我们仍然要较为详细地描述它们。

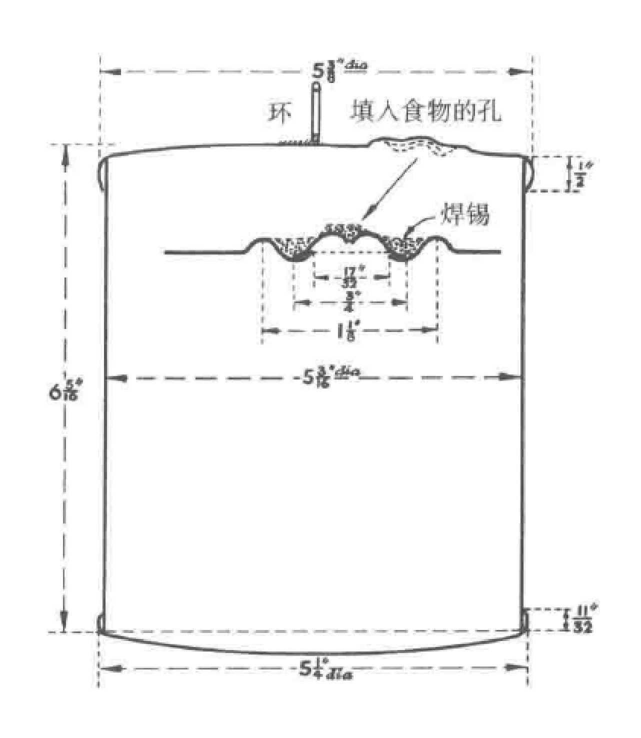


图8 帕里在第三次北极之行携带的牛肉罐头的剖面图，1825年。

1850年，巴黎的糖果制造商弗朗索瓦·阿佩尔(François Appert，1750？—1841)取得了两项独创的技术成果，最先用密封和加热的方法在一个密封容器里贮藏了许多不

39 同的食物，此即阿佩尔贮藏法（appertisation）。阿佩尔把他想要保存的食品装在玻璃瓶或罐里，松松地塞住瓶口，然后把它们浸在热水池里，经过一段靠经验确定的足够长的时间以后，再把瓶盖塞紧并用合适的材料密封住。

最重要的进步是英格兰在1811年时将阿佩尔的方法应用于马口铁罐头。杜兰德（Peter Durand）在1810年取得了第一个利用马口铁的专利（英国专利第3372号），但没有迹象表明他曾参与过罐头经营。然而，其他人却这样做了，并且唐金（Donkin）和霍尔（Hall）在1814年为皇家军队提供了罐装蔬菜汁和罐头肉。1825年，在帕里（Parry）的第三次北极之行中也带上了罐头食品（图8，图版4B）。从图9中可以看到19世纪50年代的一家典型的罐头厂。

第二个进步是用高于沸水的温度去煮盛有肉的罐头，两种煮的方法分别是用高压消毒锅和用氯化钙池。阿佩尔使用的是高压消毒锅，但不知他是不是第一个这样做的人。从他们产品的可靠性来看，也可能某些早期的英国罐头商已经使用了这些方法，但根据1851年万国博览会的官方目录来看，甘布尔（J. H. Gamble）的商行已经采用了在温度高于沸水的氯化钙池里煮的方法，戈德纳（S. Goldner）（英国专利第8873号）和沃特海默（J. Wertheimer）（英国专利第8874号）于1841年取得这种方法的专利。早期的高压消毒锅非常简单而且很危险，它只是放大了的帕潘（Papin）蒸煮锅[1]，因此极易爆炸。在氯化钙池里装得过满的罐头发生爆炸（请看边码41以下部分），一般来说危险性不大。因此，直到这一时期的后期，氯化钙池方法仍很流行，许多罐头制造商依然愿意使用氯化钙池方法，尽管弗朗索瓦·阿佩尔的继承人雷蒙·舍瓦利耶·阿佩尔（Raymond Chevallier Appert）已经于1854年

40 在高压消毒锅上安装了压力表。不久，又有人在高压消毒锅上安装了

1 帕潘于1681年第一次在铁锅即所谓大汤锅（*marmite*，长柄有盖的深平底锅）里煮食品，锅盖是可以夹住的，以承受一定的压力，其上还装有一个安全阀。

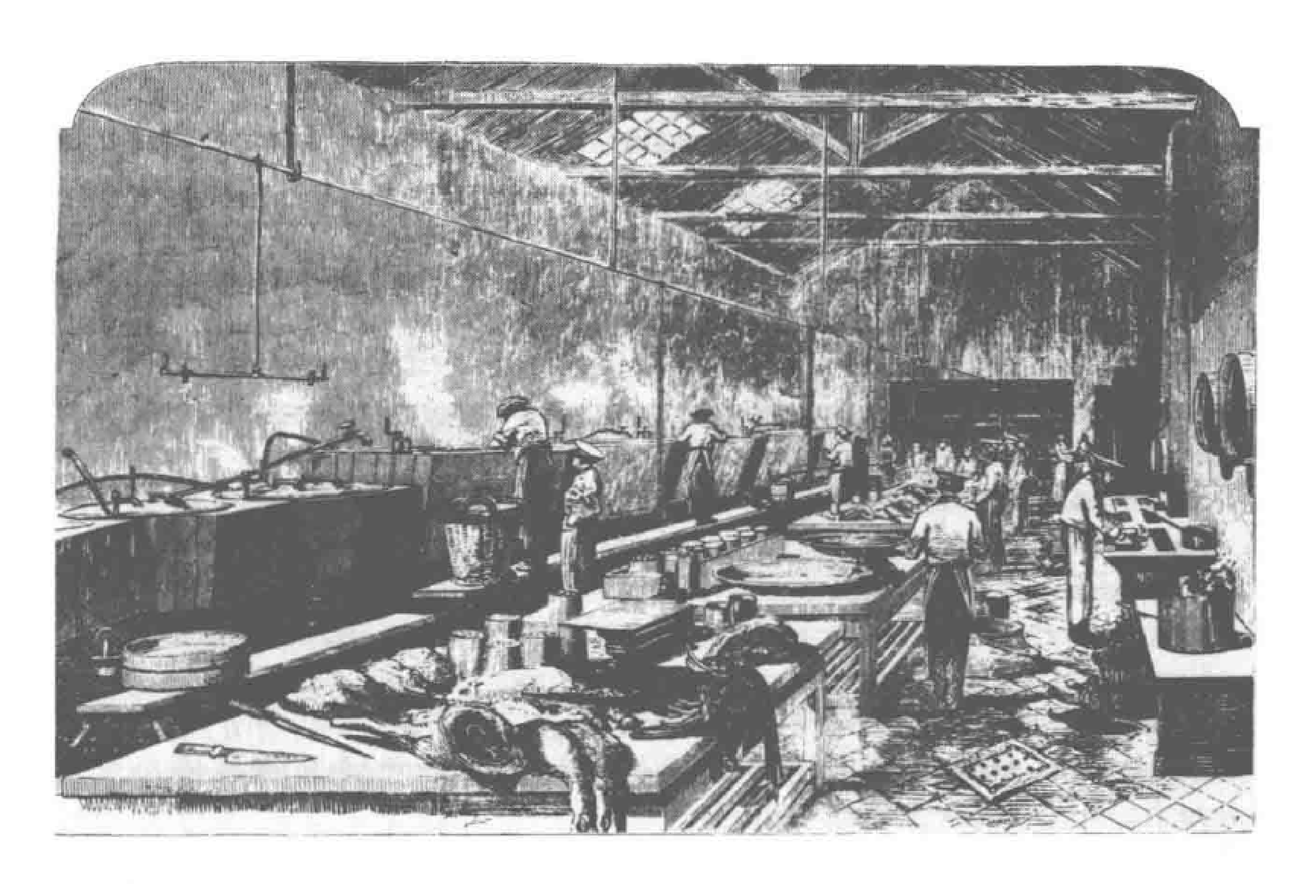


图 9 豪恩兹迪奇 (Houndsditch) 一家罐头食品厂的内景，1852 年。

安全阀和温度表，而且到 1874 年变成了独立锅炉的附属部分。

伦敦万国博览会的目录是这样描述甘布尔加工法的：

这种方法是把煮得半熟的食品放入马口铁罐里，再加一点汤或肉汁，然后焊上盖，盖上有一个钻好的小孔。接下来，把此马口铁罐的大部分浸入盐水池里，以高于沸水的温度来加热，直到空气被罐里产生的气体尽可能地完全排除为止。这时用焊锡封住盖上的小孔，用湿海绵短暂地捂住马口铁罐以止住蒸汽的散出。仍然保留在罐内的少量氧气，在这样的温度下与肉或蔬菜结合，防止了进一步的变化。封住罐以后，把它们送到试验室去，加热到 100°F 以上进行检验，如果发生腐败，产生的气体就会胀破罐头，而未受损伤的那些罐头则能完好地保存食物。

虽然这里没有指出用焊锡密封后还必须继续在池里加热，但毫无

疑问，这是报道者瓦朗·德·拉·鲁爵士（Sir Warren de la Rue）的疏

41

忽导致的遗漏，因为沃特海默在他 1841 年的专利中已经描述了一种在加热时封闭盖孔的方法，而且戈德纳也说他在焊封后继续加热了一段时间。这也可以在 1852 年 1 月 31 日的《伦敦新闻画报》（*Illustrated London News*）上关于伦敦罐头食品厂的描述中得到证实，文章写道："在焊封住蒸汽孔以后，并没有立即把罐头移离热源，而是让罐头里食品的温度在高压下升高到远高于沸点的程度。"接下来的叙述带点令人厌恶的幽默：

最后的处理是成功的根本所在，但绝不能说是没有危险的。我们清楚地记得这样一个故事：一个操作者被煮过的火鸡非常荒谬而可笑地杀死了。封有火鸡的罐头在这种高压加热过程中，由于罐头中产生的蒸汽压力超过了罐头所能承受的程度而爆炸了，死火鸡从马口铁罐里飞出来砸死了操作者，使他步其后尘……而且，封入罐内的空气会使食品腐败，产生的气体会使罐壁胀鼓。因此，如果罐内的食品继续腐败的话，那么肉罐头的罐壁就会膨胀。借助于这种明显的标志便可以区分好坏罐头……这是要花费时间的，因此购买那些刚做好的罐头是很不安全的。

当时的人们很少知道微生物在食品腐败中所起的作用，也很少知道某些微生物具有从通常认为已充分煮沸的状态下逃生的能力，因此，尽管在罐头食品业上有了上述这些改进，但在 1850 年前后仍然出现了一些令人关注的灾难。1845 年，在摩尔达瓦和英格兰制作罐头的戈德纳被英国海军部认定为承包商，得到了一批订单，为乘坐"黑暗号"（*Erebus*）和"恐怖号"（*Terror*）英国皇家海军舰船的富兰克林（Franklin）远征队提供 2.2 万品脱的汤罐头、5500 磅的蔬菜罐头和 3.1 万磅的肉罐头。由于很难在规定的时间内履行合同，戈德纳便请

求并获准用比规定尺寸要大一些的罐来盛装汤。然而，这次交付的许多罐装食品都变质了，后来一个皇家委员会的调查表明，改变罐头尺寸的建议是错误的。这次失败的部分原因可能是准备仓促，但重要的是，正是这个时候，人们第一次使用了能够容纳 6 磅以上食品的罐头。1849 年出现了持相反意见的报告，而且在下一年，戈德纳的 111108 磅罐头肉报废了。人们对使用大罐（9—32 磅）和报废量突增之间的相互联系进行了探索，虽然那时把问题归因为很难从这样的大罐里排除空气和煮得不够充分，但有一点现在看来是毫无疑问的，那就是戈德纳没有对肉的最深层进行消毒[1]。

42

事实上，直到 1861 年以后，巴斯德（Pasteur，1822—1895）的研究工作才使罐头加工有可能建立在真正科学的基础上，但吸收这种新知识的过程是缓慢的。根据曼利（J. J. Manley）于 1884 年提交给（皇家）艺术协会的一份关于肉贮藏的报告来看，当时一些关心此事的人们仍然对氧气的存在是不是"引起腐败的唯一原因"以及腐败是不是由"微生物"引起的观点有争议。这位作者认为，这两种观点都是正确的，"它们都说明如果不完全排除空气，如果不创造一种完善的真空环境，就不可能有效地保存食物"。正像霍华德（A. J. Howard）评论的那样，"早期的罐头商（指那些到 1890 年甚至以后还在从事罐头事业的人）很少有细菌学方面的知识，甚至根本就没有考虑到细菌的存在。他们完全是通过反复试验来摸索消毒方法的，因而由腐败（来源于微生物）所招致的损失是很严重的"。

1895 年，美国取得了重要的进展。虽然美国于 1819 年引入了阿佩尔玻璃罐头的生产方法，但到 1840 年才开始应用镀锡罐头，因而在早期落后于欧洲。事实上，美国甚至还落后于澳大利亚，澳大利亚在 1847 年就生产出罐头肉并出口到英国。然而，从南北战争时期起，

1　前文引用的《伦敦新闻画报》的那篇文章很可能是在戈德纳的授意下写的，因为这篇文章是以"戈德纳罐头的变质是不是因为食品装填得不好，因而从外部穿了孔"这样的发问结束的。

美国的罐头生产急剧发展，到1868年，芝加哥和其他地方的许多大规模肉类工厂开始投入生产（边码4）。在细菌学方面，美国也取得了引人瞩目的进展。当时，威斯康星大学的拉塞尔研究了豌豆罐头"爆胀"的原因。他指出，"爆胀"的罐头里含有产生气体的细菌，这种细菌没有在煮沸过程中被杀灭。他进一步证明，延长加工时间和提高处理温度即可杀死这些细菌。

两年以后（1897年），麻省理工学院的普雷斯科特（S. C. Prescott）和安德伍德（W. L. Underwood）对爆胀罐头的细菌群进行了系统的研究，并鉴别出许多有关的生物体。他们还对煮沸过程中所用的高压消毒锅和氯化钙池的优缺点进行了比较，结论是前者的优点多一些。通过在装满不同食品的各种尺寸的罐头中央放置一种测量范围很大的温度计，他们弄清了热量往固体罐装食物中传输的速率，从而也弄清了哪些类型的食物必须要用高压消毒锅来进行高温煮沸。他们还具体说明了煮沸所需的时间和温度，按照规定的时间和温度进行煮沸，既不至于使所用的时间过长、温度过高，又能保证以足够的安全限度来消除因细菌引起食品腐败的危险。总的来说，他们发现对高酸度的食品（例如水果）来说，用沸水池已经足够，对肉、蔬菜和鱼等低酸度的食品来说，则需要在高压消毒锅里以240℉—250℉的温度来煮沸，时间需由罐头的尺寸和罐装食品的特性来决定。

43

大约与此同时，加拿大的麦克费尔（Macphail）专门对龙虾的罐装进行了类似的研究工作，美国的达克沃尔（E. Duckwall）于1905年开办了第一个专门研究罐头制作问题的私人实验室。可以说，19世纪末期是对罐头制作进行科学控制的开端，科学的控制避免了浪费、损失以及更为严重的食物中毒等危害。许多年后，人们便消除了对罐头食品曾经产生过的种种情有可原的怀疑。

罐头业的历史在很大程度上是与镀锡铁罐的发展历史相关联的，因为没有镀锡铁罐，工艺的有效性就会受到很大限制。没有什么材

料能像镀锡铁皮那样既容易得到，又适合于快速制作容器。镀锡铁皮容器质轻而结实，易于牢固密封，能抗外部锈蚀，如果对某些产品采取适当的预防措施，它还能抗内部锈蚀，而且是无毒的。镀锡铁皮仅有的竞争对手是玻璃和铝。玻璃容易破碎，而且为了经受得起处理和加工，它就必须做得厚一些、重一些，而铝的强度比镀锡铁皮要差一些，它还不适于包装酸性食品。

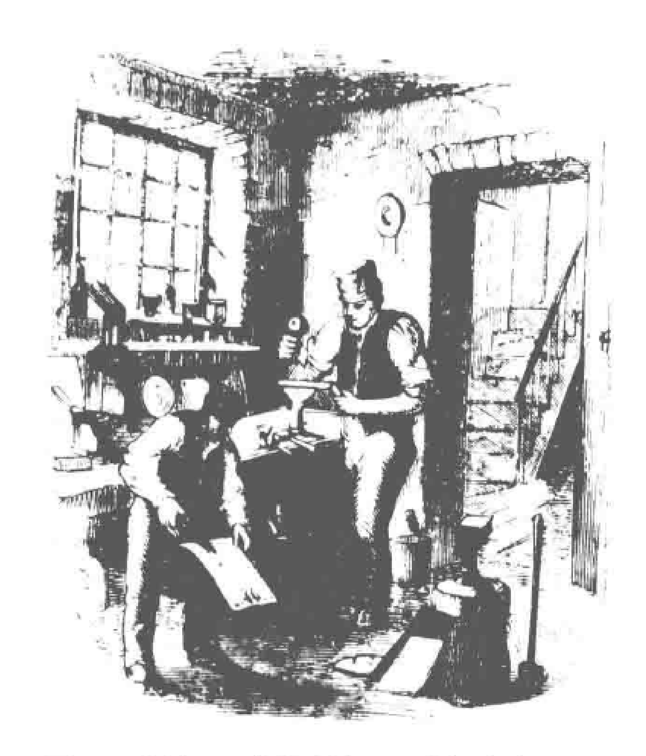


图 10 白铁工匠作坊内景，19 世纪中叶。

早期的罐头盒都是手工制作的，我们在图 10 中可以见到 19 世纪 60 年代的白铁工匠作坊。人们把镀锡板切割成所需的尺寸并在一个滚轴上弯曲成型，再把板的两边交叠在一起用锡焊住，形成一个圆筒，或叫“罐体”。用于封住圆筒两端的圆盖是翻边的，以能与罐体紧密配合，用锡焊住。顶部的端盖上有一个圆形填料孔，在罐头煮沸后会用锡焊上一个较小的圆盘以封住此孔。下一步是制作只焊上一个底盖的罐头盒。接着是装填食物，在煮罐头之前把只有一个小排气孔的顶盖焊上，煮完以后再用焊锡封住此排气孔。罐头盒制作的机械化进展可能是相当零散的，而且好像沿着两条线路，分别是搭接缝罐头盒的线路与侧缝是卷边缝和两端是二重卷边缝的罐头盒的线路。在前一条线路中，第一步好像是美国人发明了落锤冲床来制作圆盖上的凸缘（1847 年），然后是发明了一种将切割圆盖、凸缘成型和切出填料孔同步完成的组合冲床。到 1866 年，发明了焊接侧缝的机器，到 19 世纪末，搭接缝罐头盒的制作已经完全自动化了（图版 4C）。

44

现在已经普遍使用的卷边缝罐头盒的发展过程是很奇特的。早在

1824年，英格兰韦克菲尔德的罗兹（Joseph Rhodes）的商行开始制造用来形成卷边缝的机器，他们在1870年前后出版的目录册中宣称："这些机器……适用于将圆形……罐头盒顶底两端的盖子用二重卷边缝咬住，一次一端，不用焊锡。如果罐体制作良好，有凹口（即仅在顶部和底部是搭接的）和具有均匀的凸缘，那么这些缝的气密性就会非常好。但对于液体和其他物质，我们建议在底部和顶部的凹处放一种生橡胶合成物。"从这一点上看，它和现代"卫生的"开盖式罐头的制作法只有一步之遥了。然而，直到1896年和1897年，把一种橡胶合成物制备出来并应用于罐头盒两端以适于形成一种完美接缝的美国农业部农产品销售局（Ams）专利在美国出现后，这一步好像才大体迈出。

下一步的改进是在装水果的罐头的内表面涂上适宜的瓷漆，特别是那些装含有可溶性红色色素和紫色色素的水果罐头，以及装含有不稳定硫化物的各种肉、鱼和蔬菜等食品的罐头。这样做是十分必要的，因为虽然在缺少空气或氧化剂的条件下，锡不会被水果中的酸所腐蚀，但实际上罐内的空气是不可能完全被排除的，而且许多水果本身也含有氧化剂，这样一来，少量的锡就会被不断溶解，达到一定的量后就会使水果汁浑浊，并使鲜红色和鲜紫色变成讨厌的暗蓝色。在未镀上锡的缺陷处，残余的微量铁也会使水果和蔬菜里的单宁酸呈暗色，还会与上面所提到的存在于某些肉、鱼和蔬菜里的不稳定硫化物形成黑色的硫化铁，不仅会污染罐头盒的内表面，甚至还会渗入盒内的食品中。另外，某些水果还会与铁反应形成足量的氢，使罐头盒的端部胀出（"氢膨胀"），甚至使其穿孔。涂上一层完好的天然漆或瓷漆即可解决所有这些问题。法国在1868年就开始做盒体内表面涂漆的实验。不幸的是，完好的漆层很难得到，而且漆层涂得不好反而会把事情弄得更糟，特别是在氢膨胀和穿孔问题上。实际上，直到这一时期结束后的相当一段时间内，这个问题一直悬而未决。

45

2.9 冷冻

众所周知，食品在冷天比在热天能保存更长的时间。这是因为随着温度的降低，所有的化学变化包括生命过程都变得比较慢了。从最古老的年代起，为了冷藏食品，人们利用了寒冷的气候和天然的冰块，但是在发明冷冻机以前，只能在非常有限的范围内得到低温。冷冻机是在这一时期的初期开始出现的。1834 年，赖特（L. W. Wright）取得了利用空气压缩过程来制冰的专利（专利号 6665），而珀金斯（Jacob Perkins，1766—1849）则取得了靠挥发性流体的蒸发来制冷的另一项专利（图 11）（专利号 6662）。1839 年，天文学家史密斯（Piazzi Smyth，1819—1900）也利用压缩空气的膨胀造出了一台制冷设备。

46

显然，这些机器没有一台得到实际的应用。美国人戈里（John Gorrie）因为 1849 年发明了冷空气冷冻机而声名鹊起，这种冷冻机在早期的冷冻肉贸易中得到了应用。19 世纪 50 年代，有关利用压缩空气的膨胀或挥发性液体的蒸发来制冷或制冰的专利开始经常出现。哈里森（James Harrison）改进了珀金斯的冷冻机，第一台应用于生产过程（在一个煤油厂中）的冷冻设备大概应归功于哈里森（1856 年的 749 号英国专利——见图 11——和 1857 年的 2362 号专利）。哈里森是格拉斯哥人，1837 年移居澳大利亚，当过《墨尔本时代》（*Melbourne Age*）的编辑，据说是第一个预见到“在澳大利亚肉类出口贸易中蕴含着尚未开发的巨大财富”的人。人们记得澳大利亚是第一个出口肉类罐头的国家。哈里森对冷冻很感兴趣，他花了 1000 英镑在维多利亚的罗迪角（Rodey Point）建立了一个制冰厂。1851 年，他为本迪戈的一家酿酒厂安装了一台冷冻机，这是世界上这类机器的原型。后来，哈里森致力于肉类的冷冻。1873 年，他在墨尔本将一些冷冻了 6 个月的全羊肉、牛腿肉、禽肉和鱼拿出来供一个公众宴会食用。图 12 是一台 19 世纪 70 年代的制冰机。

47

然而，世界上第一家肉类冷冻厂是由莫特（Thomas Sutcliffe Mort）

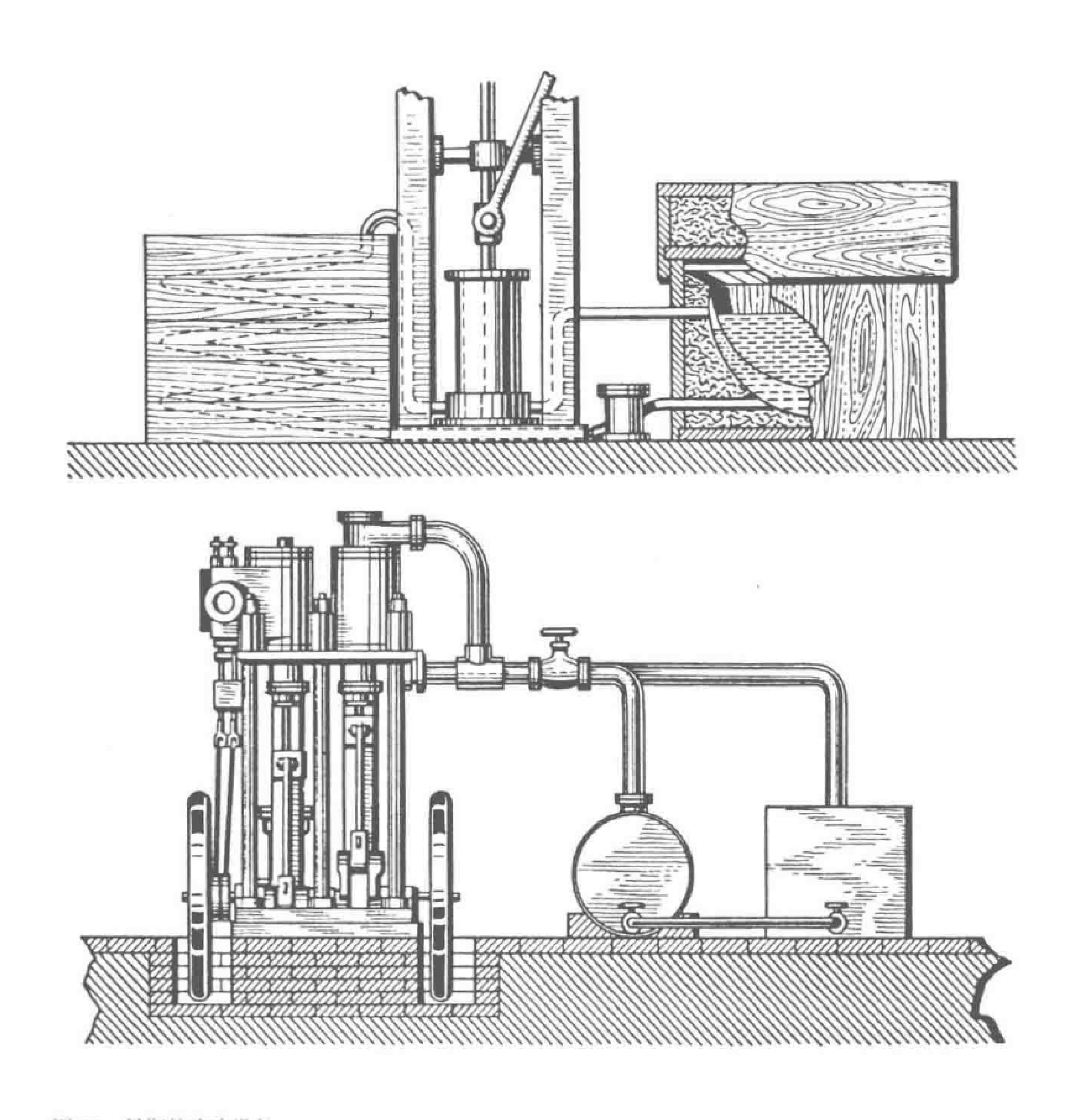


图 11　早期的冷冻设备。
上图：珀金斯制作的老式压缩机，约 1830 年；下图：哈里森改进的乙醚压缩机。

和法国工程师尼科尔（E. D. Nicolle）经过几年的努力，于 1861 年在悉尼的达令港建立起来的。1874 年，莫特建立了新南威尔士新鲜食品及制冰公司（New South Wales Fresh Food and Ice Company），使用了氨压缩机，并于 1875 年在他的冷藏库旁边建立了一座屠宰厂。图 13 是这个时期新南威尔士的一家冷冻厂。这种经营成功的企业是为国内贸易而开办的，但莫特并没有忘记向英格兰出口肉类。莫特在庆祝他的

公司开业的讲演中告诉来宾："在世界舞台上没有什么工作比我所从事的事业更加伟大……法国和英格兰不久就会为他们的食品供应而青睐我们……上帝赐予我们的东西对每个人都应该是充足的，但常常是贫富不均。食物充足的地方人却不多，人多的地方食物却很缺少。不过，这些问题可以靠人的能力来加以调整……"

从后来的发展来看，让人们集中全力去开发食品是比较好的途径，但是另一种观点占了上风。于是，哈里森（1873 年）和莫特（1876 年）都曾试图向英国船运冷冻肉，但由于海上的恶劣条件损坏了机器设备，他们的计划都失败了。

48

在这里，我们必须区分开两种贮藏状态：一种是在 14 ℉或更低下的冷冻状态，另一种是在 29 ℉—30 ℉温度下的非冷冻或轻度冷冻状态（冷藏）。大约在 1870 年，人们利用配备冰盐混合物冷却的轮船货舱，成功地将冷藏牛肉从美国运到英国。1877 年，大约与莫特在澳大利亚试图进行船运冷冻肉同时，法国工程师特列尔（Charles

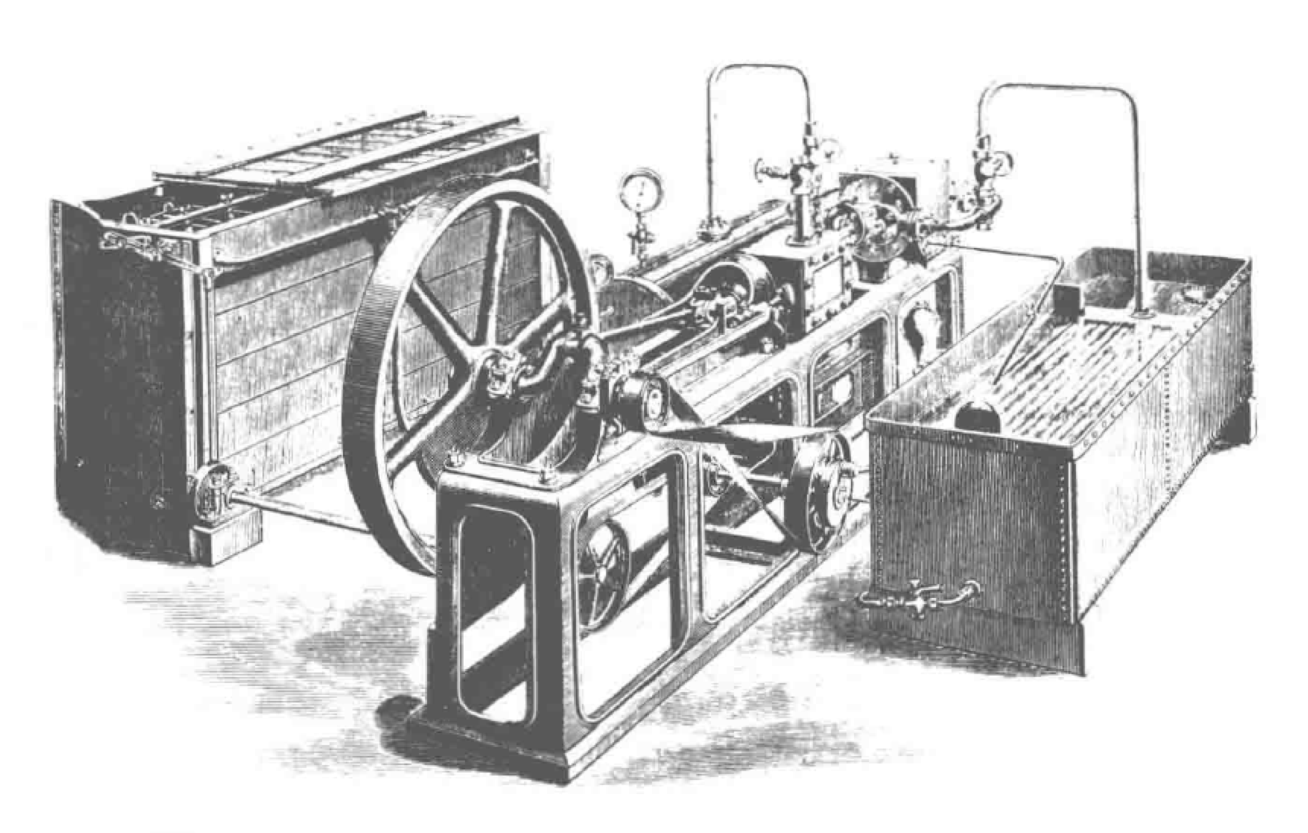


图 12　阿特拉斯 (Atlas) 压缩制冰机，约 1875 年。

Tellier）装备了一条名为“冷藏库号”（*Frigorifique*）的低速冷藏船从鲁
昂航行到布宜诺斯艾利斯，进行了一次并不十分成功的利用机械制冷
冷藏肉的试验。这条船回程时装了一船肉，路上花了 104 天，肉在靠
岸时虽然已经有点变质，却为人们解决这一难题提供了充分的资料
1879 年初，一条装有贝尔－科尔曼（Bell-Coleman）空气压缩机的“切
尔卡西亚号”（*Circassia*）轮船，第一次真正成功地将机械冷藏的牛肉
从美国运到了英国。由于航程相对较短，来自美国的冷藏肉在到岸时
都保存得很好。这样，规模庞大的贸易往来便发展起来了，比同所有
其他国家的贸易总和还要多。直到 1907 年以后，贸易量才有所下降
当时美国人口的增加使当地的消费量增多，于是阿根廷和欧洲之间的
贸易便被取而代之。

现在让我们回过头来谈谈冷冻肉，我们发现，装备了卡雷（Carré）型氨压缩机的“巴拉圭号”（*Paraguay*）蒸汽船于 1877 年第一

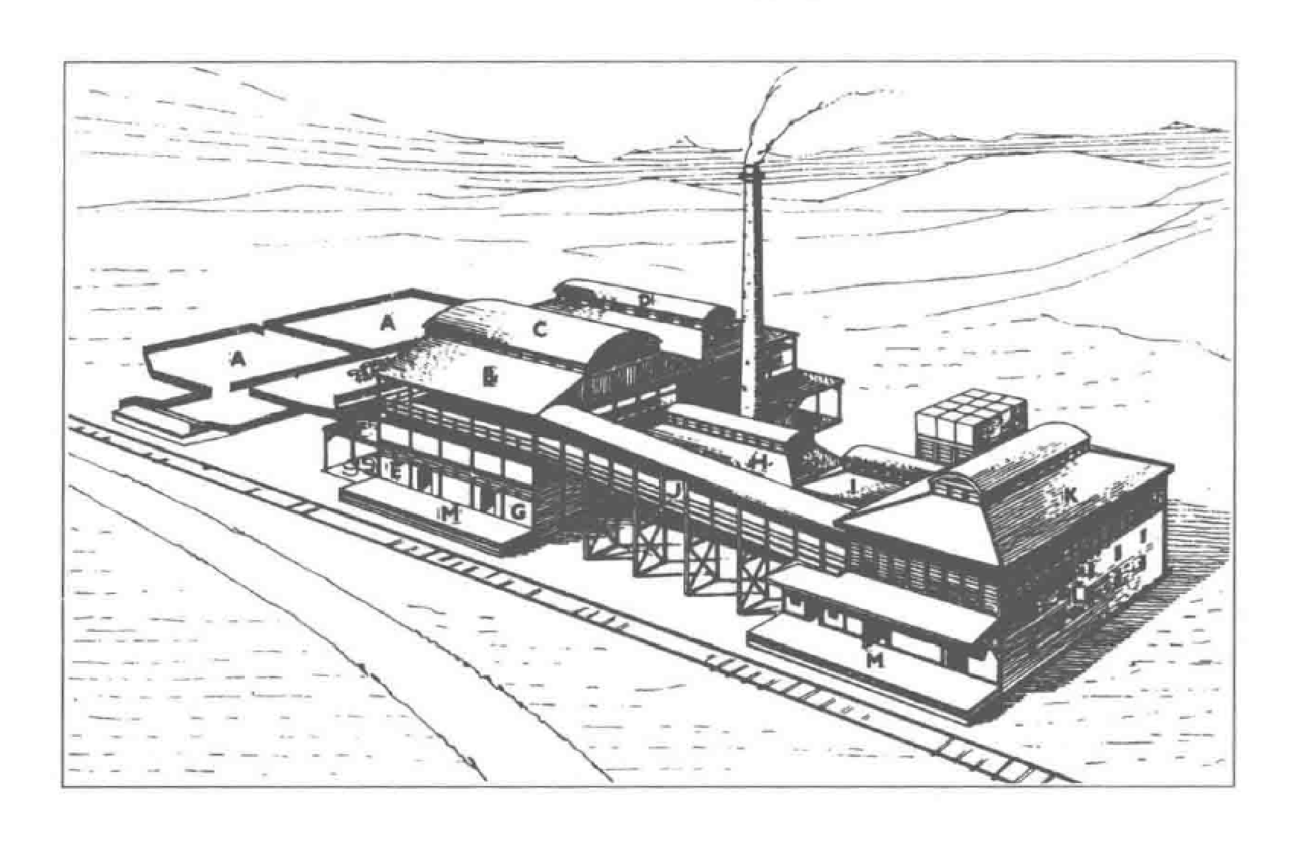


图 13　新南威尔士州德尼利昆（Deniliquin）的里弗里纳 (Riverina) 冷冻厂，约 1895 年。
（A）收购站；（B）屠宰房；（C）蒸煮房；（D）贮藏室；（E）（G）副产品贮藏室；（F）制桶工场；（H）锅炉房；（I）动力室；（J）斜坡道；（K）冷冻室；（L）冷藏室；（M）装载平台。

次非常成功地从布宜诺斯艾利斯向勒阿弗尔船运了冷冻羊肉。由于发生了一次碰撞，此次航行花费了6个月的时间，但在17°F下冻得很硬的肉据说是被完好地运到了目的地，表明此种方式是可行的，极大地鼓舞了澳大利亚人继续努力的勇气。一条装备了英国贝尔－科尔曼制冷设备的“斯特拉思利文号”(*Strathleven*)轮船于1879年进行了一次从普利茅斯到澳大利亚的航行，并于1880年2月2日返回伦敦，在良好的冷冻条件下装运了40吨羊肉，“无论从它摆在肉店里的外表来看，还是从特有气味来看，这些冷冻肉与英国的新鲜肉都没有什么不同的地方”。[1]此后，虽然澳大利亚的有关公司由于干旱或肉的质量差(不像新西兰和阿根廷，澳大利亚的肉并不常在冷库附近屠宰优等牲畜而得来的)而经历了兴衰变迁，但澳大利亚仍然继续出口冷冻牛羊肉。图14是一艘19世纪末20世纪初的典型的冷冻肉运输船。

1880年，新西兰的羊群已经从1851年的23.3万只增加到1100万只以上，那里的开拓者们用装备了贝尔－科尔曼压缩机的“达尼丁号”(Dunedin)帆船，经过98天的航行，成功地向伦敦运送了冷冻羊肉和羔羊肉。到1892年，贸易量达到200万只，10年后达到了400万只。最初，肉是在船上冷冻的，后来则是在岸上冷库内冷冻后直接装运。

阿根廷的出口量也令人瞩目。1880年，它仅出口3571只羊和羔羊，根本不出口牛肉，但在1900年，却出口了2332837只羊和羔羊、412262英担冷冻牛肉，以及2114英担冷藏牛肉。牛肉的出口量很快就急剧增加，取代了前面提到过的北美所出口的冷藏牛肉。

虽然这个时期的冷冻历史主要是指肉类的冷冻和冷藏贸易，但后来冷冻技术又被应用于其他方面。鱼是最早被冷冻的食品之一，不过如果不急速冷冻，解冻时鱼体就会变得很湿并迅速变质。人们到

1　当时《每日电讯报》(*Daily Telegraph*)的报道。

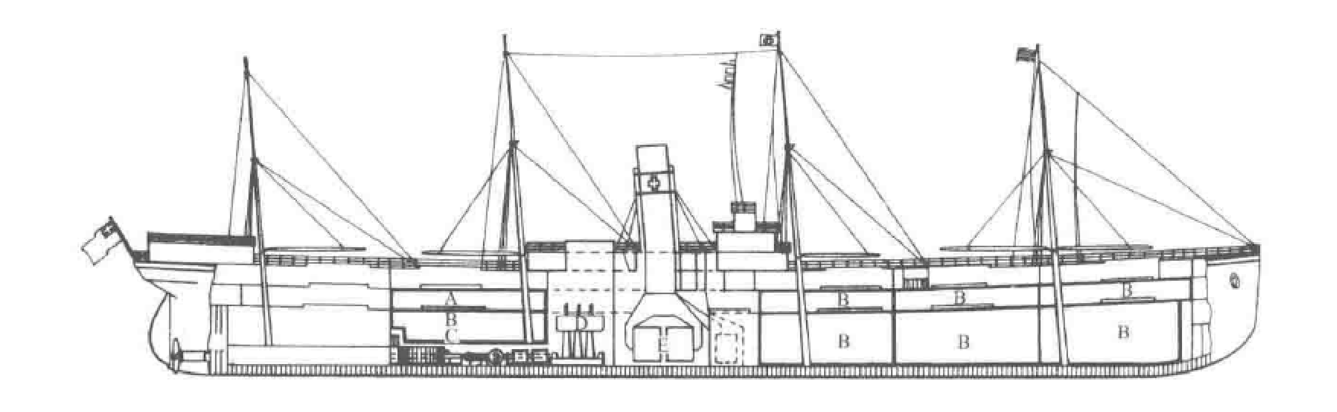


图 14 “奥斯韦斯特里·格兰奇号”(*Oswestry Grange*)蒸汽冷冻运肉船的剖面图。这艘船是在 1902 年注册的。
(A)冷牛肉产品和储备品;(B)冻肉仓;(C)冷冻机;(D)发动机;(E)锅炉。

1933 年才理解冷冻速度的这种效果，因此冷冻在鱼类加工业上的主要用途，长期以来是为短期贮藏鱼提供冰块和冷藏条件，也就是说使鱼能在冷藏条件下一直贮藏到运上岸送到内地的消费者手中为止。在乳制品工业上，冷冻方法的用途是冷藏牛奶和从澳大利亚及新西兰船运黄油。虽然带壳鸡蛋的冷藏是早就进行的事，但它们不适于冷冻，所以机械制冷的贮藏库在美国一开始启用(大约在 1890 年)，好像就开始冷冻蛋液了。毫无疑问，冷冻和冷藏方法也已被应用于家禽。

50 冷冻水果和蔬菜所需的特殊技术自 1900 年才被开发出来，但早在 1900 年之前就已使用冷藏技术了。1884 年，人们第一次用冷藏的方法从塔斯马尼亚岛向伦敦长途船运了苹果，但是在此期间，塔斯马尼亚和澳大利亚的大量苹果都在运输过程中坏掉了。苹果是有生命的东西，如果在略高于冰点的条件下贮藏的话，某些品种就会坏掉，虽然某些品种会得益于密闭的条件，但有些品种则可能因通风不良而坏掉。这种情况不仅限于苹果，所以从 1900 年开始，人们进行了大量的研究来找出各种情况下为达到最好结果而需要的贮藏条件。

制冷理论以及制冷的各种系统和机器不属于本章讨论的范围。这里所提到的设备从那时起因空间、重量和工作的经济性等原因而被逐

渐取代，但并不是因为它们不具备冷藏所需要的各种条件。这些条件是：

在29.5°F—30°F或更高温度下的冷藏：在整个贮藏过程中，温度要稳定、均匀，只要有可能，就要有控制湿度的设施，尽量不使贮藏的食品变干和枯萎。像我们已经知道的那样，冷藏温度只能减慢但不能阻止霉菌、酵母和细菌的生长。肉的腐败首先就是由这种原因引起的。

冷冻：当温度降至足以冻结食品的时候，微生物的生长就完全停止了，而且在整个贮藏过程中，其他形式的变质也变得非常慢，达到了可以忽略不计的程度。对于长期冷冻贮藏而言，温度越低，贮藏的效果越好。但经验表明，14°F的温度对一般用途来说已能令人满意，因而多年来它一直是商业上所认可的贮藏温度。然而，起始温度常常是比较低的，这是为了快速冷冻。良好的隔热和较大的冷却表面能使冷冻温度始终保持在贮藏所需的温度范围，这种措施可以把所储食物的“冻灼”（表面干燥）现象和冷却管路上的结冰现象减小到最低程度。

通过实际努力，这些条件大部分都达到了，但必须承认在冷却方法开始应用以前，人们已经积累了大量的科学知识。温度计从一开始就被用于记录冷藏的条件以及调整冷冻机的工作状态，到这一时期末已经采用了远距离测量和记录式温度计，利用这种温度计在记录纸上自动记录整个航程中冷藏室的温度变化情况。一种早期的装置是报警温度计，当冷藏温度超过或低于某种限度时它就发出警报。在这一时期过去后不久（1912年），克里切尔（Critchell）和雷蒙德（Raymond）写道：“船上设备的海水循环系统中的调节装置现在变得如此精确，以至于制造者们声称能使肉舱的温度变化保持在1°F或更小范围之内。”

2.10 脱水

如果说晒干法是一种最古老的食物保存方法，那么前面提到过的脱水方法则是现代的干燥方法。奶粉就是用脱水法制得的。早在1865年，美国的拉蒙特(C. A. La Mont)就获得鸡蛋脱水的专利，但据我们所知，他直到1878年前后才开办工厂。与此同时，另一个发明者斯托达德(W. O. Stoddard)也进行了脱水鸡蛋的商业化生产。1895年以后，脱水鸡蛋在美国风靡一时，但后来，中国在19世纪末也开始用德国工程师安装的设备生产脱水鸡蛋，在中国的竞争下，美国的产量有所下降。

晒干或风干的肉食品是狩猎和游牧民族的特有食品。在南美叫干牛肉，在南非叫晒干的肉条，在北美叫干肉饼。鱼的晒干方法也非常古老。但是，这一时期在脱水肉方面的最新产品还是由哈索尔(Hassall)和其他人在1870年前后生产的肉末，他们把瘦肉在热蒸汽盘上烘干，然后磨碎做汤，或与面粉混合做成饼干。

除了作为面包配料而使用的脱水马铃薯和干洋葱，如果不考虑某些特殊的目的和场合，可以说人们一直没有成功地生产出脱水蔬菜。在欧洲，为了供应部队和船只蔬菜以防治坏血病，人们在生产脱水蔬菜方面进行了长期但不成功的尝试。在美国南北战争中，也为此目的而使用了脱水的蔬菜、苹果和桃。许多年以后，在布尔战争中，则把它们作为汤、炖菜和其他菜肴的主要原料。虽然在1780年英国就批准了一项关于在脱水前先将蔬菜用开水烫一下的专利，但事实上这种已有的诀窍被人们遗忘和忽视了，因而一直到第二次世界大战为止，在蔬菜脱水方面的成果非常混杂，很成问题。用开水烫菜能将酶破坏掉，从而防止酶在干燥期间和干燥以后起作用。但即使事先烫过，大多数干菜仍需精心保存，需用昂贵的材料将它们包装起来，以免它们在贮藏时变质，特别是在热带地区更应如此。然而，脱水食品在战争和远征考察时具有明显的优点，它们在制作膳食时的营养价值、味道

和外观已能与罐头及冷冻食品相媲美。

2.11 化学防腐剂

52

在英国，直到1875年通过《食品法》，硼砂或硼酸、福尔马林以及水杨酸和苯甲酸等物质，才被作为罐装肉、鱼和各种饮料的防腐剂而大量使用，后来又用到类似的一些“添加物”，像面包里的明矾和有时带有毒性的人造色素等。1860年，先前的《食品法》已被证明是不可行的，并失去了作用。1875年的《食品法》则制定得比较仔细，因而在某些方面更为有效。但是它也有许多漏洞，例如它禁止在面包中使用明矾，却允许在烤食中使用它。它也有不公正的地方，小零售商可能要对他并没有意识到的那些过错负责任，批发商和制造商们却有可能逃脱责任。

人们反对使用这些防腐剂，是因为它们与食品加工中所用的糖、醋、盐不同，在食品中的比例很少时，虽然会抑制微生物的活动，但同时也会损害消费者的健康，其中某些防腐剂还具有累积效应。防腐剂中非议最少的是亚硫酸，被长期使用而且对水果和水果饮料这些酸性产品非常有效。它有一个优点，即通过蒸煮可以迅速去除，先前被它漂白的食品几乎完全可以恢复原来的颜色。1899年，人们对1875年的《食品法》进行了很有意义的反思和修改，确定了某些种类食品允许添加的少量防腐剂的比例。不过除了亚硫酸外，所有的防腐剂后来都被禁止了。而且，除了那些仍然被认为是无害的防腐剂，这个法规对人造色素和一些“添加物”也是非常严格的。

参考书目

Bitting, A. W. 'Appertizing ; or, the Art of Canning ; its History and Development.' Trade Pressroom, San Francisco. 1937.

Critchell, J. T. and Raymond, J. 'A History of the Frozen Meat Trade.' Constable, London. 1912.

Hunziker, O. F. 'Condensed Milk and Milk Powder Prepared for Factory, School and Laboratory' (5th ed.). Published by the author, La Grange, Illinois. 1935.

Jago, W. and Jago, W. C. 'The Technology of Breadmaking.' Simpkin, Marshall, Hamilton, Kent, London. 1911.

Kent-Jones, D. W. and Amos, A. J. 'Modern Cereal Chemistry' (4th ed.). Northern Publishing Company, Liverpool. 1947.

Trevelyan, G. M. 'English Social History.' Longmans, London. 1942.

第3章 钢铁工业

H. R. 舒伯特（H. R. SCHUBERT）

3.1 贝塞麦转炉

1850年至1900年间，世界各地的钢铁产量都有了非常显著的增长。这种发展的基础是在19世纪上半叶奠定的，当时对铁的需求增长得很快，主要由机械和工程的发展、铁在建筑方面应用的增长以及19世纪30年代和40年代的铁路建设高潮所引发。这种需求几乎完全靠熟铁和铸铁的生产来满足。与这两种材料相比，钢的产量非常低。例如，英国是当时世界上最大的钢铁生产国，1850年前后，铁的产量约为250万吨，而钢的产量却不到6万吨，造成这种差别的原因是钢的生产成本太高。当时的炼钢方法主要是渗碳法和坩埚法。尽管人们对工艺过程进行了许多改进，但是炼钢过程仍然很费力，而且很不经济，所以钢材一直是非常短缺而又昂贵的材料。后来，由于炼钢新工艺的发明，情况发生了惊人的变化。新工艺的采用使钢的生产成本显著降低，产量大大提高，最终导致能用钢来取代熟铁和铸铁，成为主要的黑色金属材料。

大约在19世纪中叶，经过多次试验和失败之后，美国和英国终于几乎同时出现了伟大的发明，为世界奉献了一种适于大批量生产的廉价新材料。1847年，出生在宾夕法尼亚州匹兹堡的凯利（William Kelly，1811—1888）在肯塔基州埃迪维尔他自己的炼铁厂里，开始进

行炼钢新方法的试验。起初，凯利为农场主制造糖锅，所用的铁仍是按常规的精炼工艺生产的。这种工艺是把空气鼓入炉中以烧掉生铁中多余的碳，使生铁转变为可锻性铁（熟铁）。在生产中，用来产生所需热量的燃料是木炭，其不断上涨的成本是当时铁器制造商的一块心病。一天，凯利在精炼炉内发现，有一些熔化了的生铁没有被木炭盖住，当空气流喷射到这些地方时，那里的铁水温度比被木炭盖住的铁水的温度要高得多。这个现象使凯利认识到，仅靠鼓风即可把生铁中所含的碳吹出来，这些碳本身就能起到燃料的作用，并产生非常高的温度。在精炼过程中采用脱碳的方法来生产熟铁，是许多世纪以来炼铁匠们所熟悉的方法，只要使脱碳的程度比炼制熟铁所必需的程度低一些，就可同样炼出钢来。

靠生铁中所含的碳快速燃烧来提高温度，这是凯利发明的“空气吹炼法”（air-boiling process）的新特点。当他为自己发明的“不用燃料”炼钢法起劲宣传的时候，遭到铁器制造商们的完全拒绝，连凯利的夫人也怀疑他精神不正常。凯利本人坚持将试验进行了下去。1851年，他在森林里的一处僻静地方建造了第一座转炉，用自己发明的新方法来炼钢。此后的5年里，他又秘密建造了6座这样的转炉。一直到1856年，凯利才申请专利，因为这时他知道英国人贝塞麦（Henry Bessemer，1813—1898）发明了同样的工艺而获得了一项美国专利。由于能使专利局的官员们确认他的发明具有优先权，凯利于1857年6月23日获得了一项专利。这一次，官方认定凯利为最早的发明人，贝塞麦提出恢复自己专利权的申请被拒绝。然而，凯利的最后成功来得太迟了，因为在同一年，他已经破产了。

在英国，独立从事同一领域研究的贝塞麦倒是比较成功，最终都把这种方法与他的名字连在一起。但是，他和凯利两人所采用的炼钢方法有所不同。在最初的几年中，凯利的目的是在不使铁水完全液化的情况下得到比使用精炼法和搅炼法更好的产品，贝塞麦的目的则是

在极高的温度下使铁水维持在完全液化的状态。

1856年8月11日，在切尔滕纳姆举行的英国科学促进会（British Association for the Advancement of Science）的年会上，贝塞麦提交了一份题为“论不用燃料生产可锻性铁和钢”的论文。他所公布的发明引起了与会者的强烈反响，但在进一步实际应用时，其结果用贝塞麦自己的话来形容是“非常悲惨”的。在他最初的一些试验中，由于偶然的幸运，他使用了不含磷的生铁，因而取得了良好的效果。可是，当使用含磷的生铁时，他的炼钢方法却失败了。磷是非常普遍地存在于铁中的一种元素，英国和欧洲大陆开采的大多数铁矿石都含有磷，它会使钢发脆。由于不能有效地去除这种有害的元素，因而在开始的几年中，贝塞麦炼钢法的应用范围受到了极大的限制。

最初生产出来的贝塞麦钢不仅很脆，而且还含有许多气孔，但在贝塞麦公布自己的发明的那年，有人找到了一种补救方法，这应该归功于迪恩森林一位铁器制造商的儿子马希特（Robert Forester Mushet，1811—1891）。马希特的补救方法的要点是添加镜铁。镜铁是一种锰铁合金，具有脱气作用，因而能够去除在贝塞麦炼钢工艺过程中引入的过多的氧。镜铁还是一种渗碳剂，用它可以调节钢中的碳含量，单靠贝塞麦炼钢法不能令人满意地达到这种目的。在初期的意见分歧之后，贝塞麦确认了马希特的贡献，认为马希特的发明是一项“最有用和最有价值的”发明，是对他自己方法的补充。然而，马希特的发明只是部分地解决了贝塞麦炼钢法所遇到的难题，因为用了镜铁以后只能生产碳含量较高的产品。

贝塞麦炼钢法的第一次真正成功是在瑞典，通过约兰松（Göran Fredrik Göransson）的努力而实现的。约兰松的成功主要是由于他采用了纯粹由瑞典丹讷穆拉矿炼成的铁，这种铁矿石几乎不含磷和硫。1857年，约兰松购买了贝塞麦在瑞典的部分专利，并从英国得到了一座固定式贝塞麦转炉和一台蒸汽鼓风机，在英国工程师的帮助

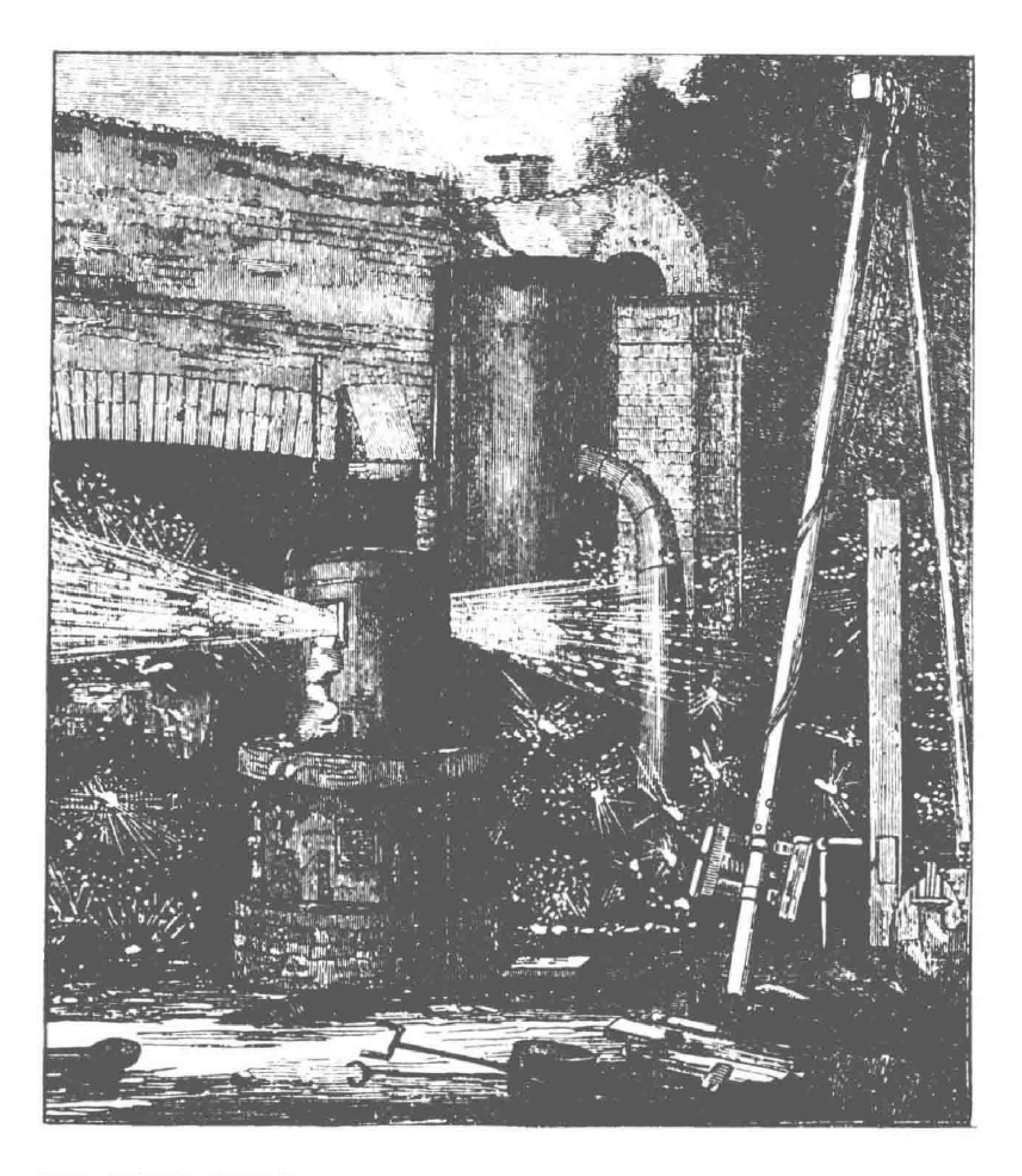


图 15　贝塞麦的固定式转炉。

（中后）基于通常原理的化铁炉；（前）贝塞麦炼钢炉；（左端）接受来自熔炼炉的粗铁，然后将之输送到精炼室的容器里。

下，把它们安装在瑞典。经过了起始阶段的多次失败以后，约兰松在1858年7月终于取得了成功。他对发展贝塞麦炼钢法的重要贡献在于控制鼓风量，也就是在正好达到某种品级的钢所需的碳含量时停止鼓风。

马希特和约兰松所做出的改进，丝毫没有抹杀贝塞麦作为一名发明家的功劳以及他的发明的伟大作用。尽管其他人作出了许多贡献，但贝塞麦无疑“是新兴工业的一位真正的助产士，他使这一新兴工业在如此短的时期内跨入了成年期”[1]。

1855年，贝塞麦在伦敦圣潘克拉斯区（St Pancras）巴克斯特商行（Baxter House）他的工厂里，建造了一座固定的竖式炼钢炉，开始进行初期的炼钢试验（图15）。这种炼钢炉是一个小型竖立的圆筒，炉膛内部大约高4英尺，在它的底部安装有6个风口（*tuyère*），空气沿水平方向鼓进炉内，使用的是每平方英寸10—15磅的鼓风机。生铁在化铁炉内熔化以后，铁水通过可移动的化铁炉出铁口流入炼钢炉内。在完成转化作用以后，钢水便通过炉子底部的出钢口流入一个可移动的浅槽或容器中。

这种固定式炼钢炉的缺点是在装入铁水和放出钢水过程中损失热量。贝塞麦找到了一个补救方法，把炼钢炉安装在一个耳轴上，此轴能使底部吹风口在装满铁水以前总是处于铁水的上方。这种炼钢炉还允许在出完钢水时停止鼓风。1860年，贝塞麦的可倾动式转炉在设菲尔德他自己的炼钢厂里首次投入运行，这种新式的炼钢炉也在这一年获得了专利权，而且此后一直没有发生实质性的变化（图16）。在图16中，A是装入铁水之前处于直立位置的转炉；B是转炉旋转至水平位置时，铁水包正在往转炉中倒铁水的情景；C是转炉在鼓风时的位置。这时，鼓风机开始鼓风，空气流经过炉子底部的风口进入转炉。在C、G和H中，画出了转炉的底部和风口的形状。然后，将转炉转到直立位置，并且增大鼓风量，迫使空气穿过铁水。冶炼过程结束时，转炉再次旋转至D的倾斜位置，钢水由转炉倒进钢水包中，如E和F，然后再把钢水由钢水包注入浇铸槽中。

56 57

这种转炉的优点是炼一炉钢所需要的时间非常短，但是与其他的冶炼方法相比，铁的损耗是相当大的，因为一些铁水被鼓入的空

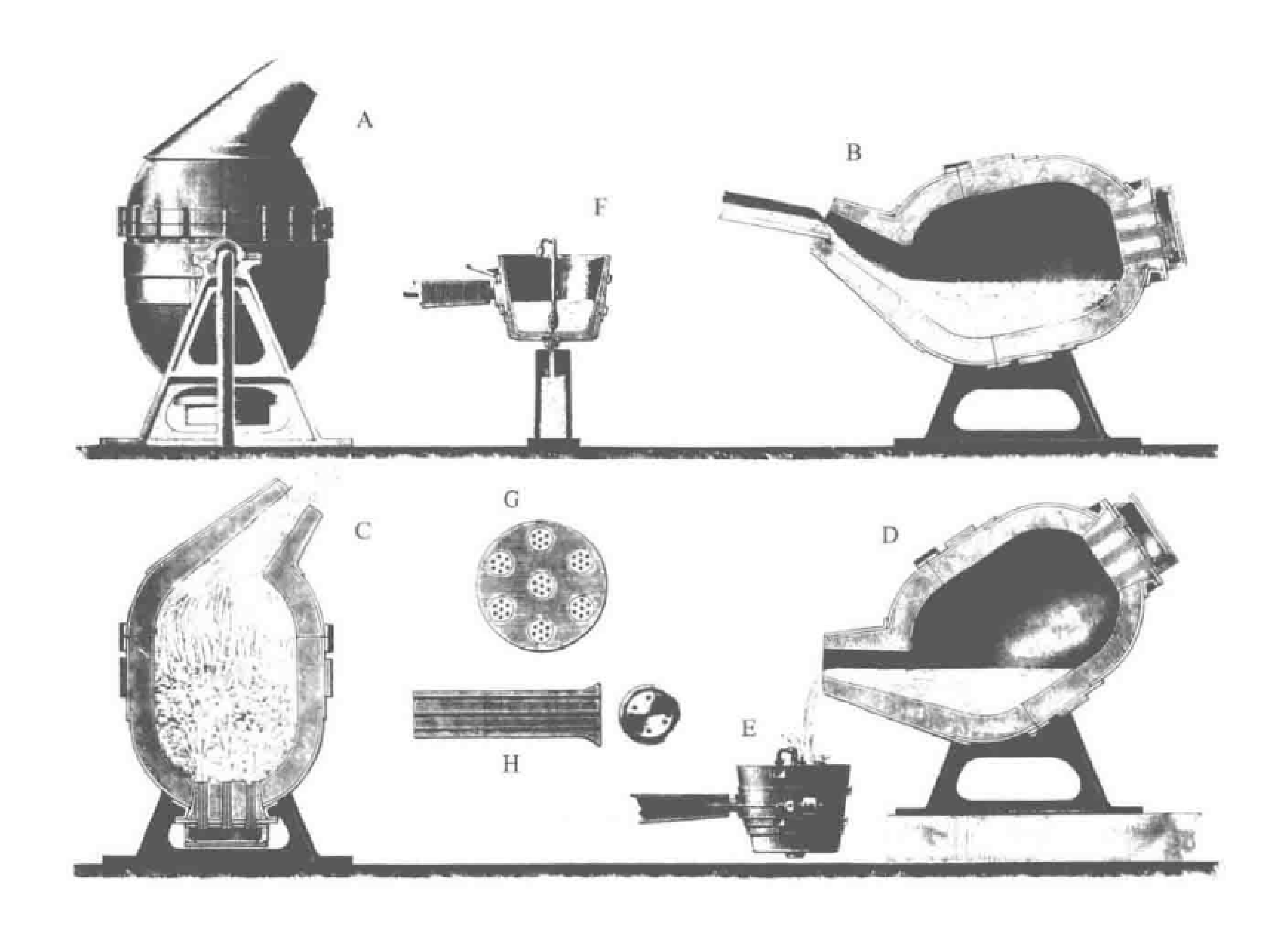


图 16 第一台贝塞麦可倾动式炼钢转炉和钢水包，1860 年。

气带走了。

在英国以外，最先引入贝塞麦转炉的是法国，吉伦特省的圣瑟兰大约在 1858 年建造了贝塞麦转炉。德国的克虏伯（Alfred Krupp）在埃森建立了一座贝塞麦转炉，于 1862 年开始投入生产。1863 年，奥地利在施蒂里亚州的图拉赫建造了一座贝塞麦转炉。1864 年，美国密歇根州的怀恩多特开始根据凯利的专利生产贝塞麦钢。

3.2 西门子平炉炼钢法

在贝塞麦公布他发明了转炉炼钢法的同一年，一位德裔英国人 F. 西门子（Frederick Siemens，1826—1904）因他的蓄热法新发明而取得了一项英国专利。蓄热原理是 F. 西门子和他哥哥 C. W. 西门子（Charles William Siemens，1823—1883）发明的平炉炼钢法的本质特

征。在炼铁业，这一原理最先应用于蓄热式热风炉，这种热风炉是西门子的一位助手考珀（E.A.Cowper）于1857年发明的（图17）。在考珀炉中，空气在鼓入高炉的途中经过一个用耐火砖砌成的格子装置被加热，而这些耐火砖是靠同一座高炉所排出的废气来加热的，高炉就是这样对鼓给自己的风加热。在第一座炉子产生热空气期间，第二座炉子被废气所加热，从而做好了接收空气流并将其加热的准备。空气流的交替，确保了高炉能不断获得热空气供应。

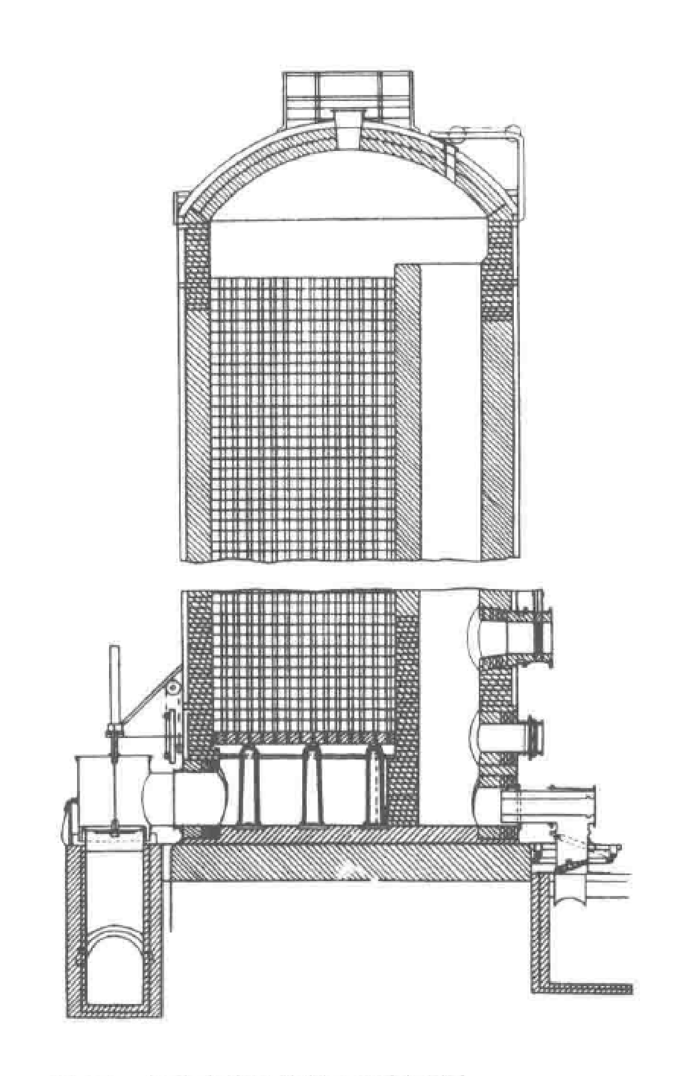


图17　考珀式热风炉的立视剖面图。

1860年，在米德尔斯伯勒附近的奥姆斯比建造了这种考珀炉，进入高炉的空气温度高达620℃，这在以前是从未有过的，其结果是生铁的产量提高了20%。直到今天，经过改进的考珀炉仍在用来加热鼓入高炉的空气。

西门子炼钢炉像考珀炉一样根据蓄热原理来工作，但它在热源方面不同于贝塞麦转炉。

在转炉中，炼钢过程中产生的热量提供了必要的工作温度。而在平炉中，熔化炉料所需的热量则来自冶炼过程之外。

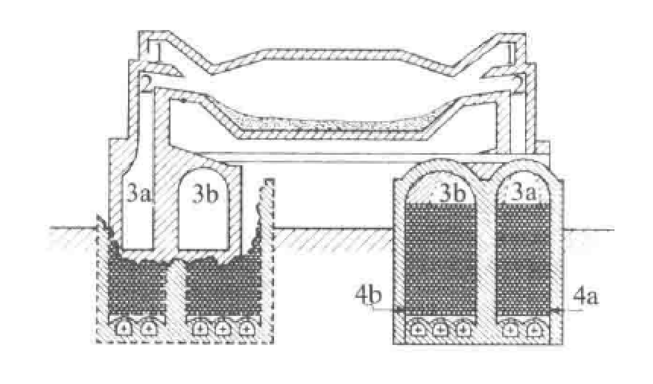


图18　平炉的截面示意图。

一开始，西门子使用了固体燃料。1861 年，他又迈出了重要的一步发明了一种与炼钢炉完全分离的煤气发生器，从而把固体燃料转换为煤气。使用煤气发生器以后，炼钢就可以使用低质煤了。

59

1861 年，在因煤气发生器而取得的一项专利中，C. W. 西门子提到了这种能在炉床上熔化钢的平炉。同一年，整个发明被应用于伯明翰的玻璃厂，并且很快就普及到其他各种工业生产中（图 18）。

在平炉内部，空气和气体燃料混合在一起形成一股火焰，火焰可达炉膛高度的 2/3，冲到炉内物料表面的上方。出气口（图 18 中的 1 和 2）的作用是控制火焰的方向，火焰通过的炉膛是用耐热材料砌成的长方形浅槽。为了防止废气中的全部固体颗粒都沉淀在砖格里，废气应先通过沉渣室（3a 和 3b），使一部分固体颗粒沉降。在废气由炼钢炉排到烟囱的途中，废气将一部分热量传给了经过格子通道（4a，煤气；4b，空气）而进入炉膛的气体燃料和空气。结果，炉内火焰的温度便大大上升，高达 1650℃左右。每隔一段时间，空气和煤气流的方向便调换一次。

为了对平炉中熔化的生铁进行脱碳处理，西门子在冶炼时往铁水中加进了一些铁矿石，铁矿石中的氧化物便与生铁中的碳发生反应，从而使生铁中的碳含量降到所要求的水平。皮埃尔・马丁（Pierre Martin）首先发现，往铁水池内添加一些废钢便可降低铁水中的碳含量。他和父亲在昂古莱姆附近的西勒伊拥有一座小型钢铁厂，1864 年采用添加废钢的方法成功地炼出了钢。他们使用的是西门子的工程师们建造的交替换热炉，所用的生铁是用埃尔巴赤铁矿的高品位矿石冶炼而成，特别适合炼钢。两年以后，马丁父子与西门子签订了一项协议，为以后的西门子－马丁平炉炼钢法奠定了基础。

由于能在非常高的温度下冶炼大量金属，并能使金属在整个冶炼过程中总是处于熔融状态，再加上使用了废钢和廉价的低质煤，西门子－马丁平炉炼钢法取得了成功。这一成功的标志是，1900 年以后

不久，其在生产中的应用已大大超过了贝塞麦炼钢法。

到 19 世纪末期，人们开始建造一些尺寸相当大的平炉，也建造了一些可以倾斜的可动式平炉。在这方面，美国的钢铁工业处于领先地位。1895 年，利兹的塔尔博特(Benjamin Talbot)发明了连续吹风方法，即每次出钢只倒出平炉内的一部分钢水，这样就能使炼钢炉内始终保持很高的温度。4 年以后，这种炼钢法在费城附近的彭科伊德投入实际应用。在欧洲，直到 1902 年，这种方法才传到林肯郡的弗罗丁汉姆。

60

3.3 碱性炼钢法

炼钢中去磷的难题，最终被伦敦人托马斯(Sidney Gilchrist Thomas，1850—1885)在他的堂兄吉尔克里斯特(Percy Gilchrist)的协助下解决了。贝塞麦转炉的炉衬用含有大量硅酸盐的“酸性”耐火材料制成，可以去除碳、硅、锰等杂质，但是不能去除磷。托马斯在转炉中用碱性耐火材料制成炉衬，并在冶炼过程中加进一些石灰石，终于成功地去除了金属中的磷。这种碱性炉衬使用煅烧过的白云石，它的一个功能是与磷化合从而去除金属中的磷，其中起主要作用的石灰石变成了粉末，成为很有价值的农田肥料。1875 年，托马斯向英国钢铁学会(British Iron and Steel Institute)提交了一份报告，阐述了他的这一发明在实际应用方面所取得的成功，但这份报告被否定了。过了好多年，这项发明才在工业应用中获得成功。碱性炉衬和酸性炉衬均可应用于贝塞麦转炉与平炉，使用哪一种炉衬取决于所用的生铁的性质，以及所需要得到的钢的品种。

托马斯发明的实际优点是使含磷铁矿石的应用成为可能。因为英国具有充足的无磷铁矿石来源，所以托马斯的发明对英国的影响比对其他一些国家的影响要小。贝塞麦在遭到了最初的失败以后，就专门选用由坎伯兰矿区和兰开夏郡北部弗内斯半岛矿区的黄铁矿

石冶炼而成的生铁。坎伯兰矿石因而又称“贝塞麦矿石”，它几乎不含磷和硫。另外，英国还从瑞典和西班牙北部矿区进口高品位的铁矿石，结果一直到19世纪末，托马斯的碱性炼钢法才开始在英国流行。从托马斯碱性炼钢法中获益最多的，是拥有大量含磷铁矿石的那些欧洲大陆国家，例如比利时、法国，特别是德国。1871年从法国兼并来的德国洛林省，蕴藏有价值很高的名为米内特（*minette*）的含磷铁矿石。由于托马斯发明了碱性炼钢法，德国的钢产量便大大增加了。

61

3.4 钢的应用

19世纪70年代是所有重要炼钢技术取得全面进展的时期，也是影响全世界钢铁工业产业变化的时期。最引人瞩目的特征是19世纪最后的30年中，世界的钢产量出现了巨大的增长。1870年，全世界钢的年产量略多于50万吨，而到1900年几乎增加到了2800万吨。美国的增长比其他任何地方都更为令人瞩目。1867年，美国的炼钢工业刚刚开始发展，那时的年产量大约为2.2万吨，而1900年的钢产量则增长为1140万吨。从1889年起，美国的钢铁生产在世界上处于领先地位，并且从此开始一直大大超过英国。1873年，美国的钢产量不足20万吨，而英国则为65.35万吨，是美国的3倍多。可是到了1900年，英国的钢产量仅仅增长到490万吨左右，不到美国年产量的一半。从那时起，另一个超过英国且成为世界第二大产钢国的国家是德国。当时，德国钢的年产量达到了800万吨以上。这种增长速度非常引人瞩目，因为德国在1850年的钢产量还不足1.2万吨。

随着钢产量的增长，熟铁的产量则相应地减少。例如，在1883年，英格兰把70%的生铁用来炼制成熟铁棒，但是到1897年时，用来炼制熟铁棒的生铁还不到5%。这些用搅炼炉炼出来的熟铁，被

锻铁匠、铁锚匠、铁链匠和其他工匠恢复到它原先的用途上。但是，这种变化进展得非常缓慢，而且在英国这种变化所花费的时间比美国要更长一些。建筑铁路时用钢取代了铁，这是引起这种变化的一个重要因素。

在贝塞麦发明他的炼钢法的时候，铁路建设发展得很快，印度和其他英属殖民地也开始铺设。1857 年，俄国开始大规模地进行铁路建设，并与英国签订了数量空前的合同。1869 年前后，欧洲大陆的铁路建设进行得相当快，但后来因 1870 年至 1871 年的普法战争而暂时中断。战争以和平方式结束以后，德法两国都想继续发展铁路建设，并与英国签订了大量合同。1862 年至 1872 年，英国是世界上主要的路轨供应国，但是只有一部分需求量是靠用贝塞麦酸性钢轧制而成的路轨来满足的，其余的路轨则均用熟铁锻制而成。

直到 1870 年以后，人们才开始真正认识到钢在铁路建设中的重要作用。那时，在英国的南威尔士、中部地区和北部各郡，仍然用铁制作路轨。到了 19 世纪 80 年代，熟铁的产量逐渐下降，这种趋势标志着钢轨的胜利。钢不仅是一种廉价的材料，而且还具有另一种优点，因为钢轨的使用寿命是熟铁路轨的 15—20 倍，所以钢轨的更换成本比铁轨低得多。

62

1865 年，美国使用贝塞麦钢轧制出了第一批路轨。在 19 世纪 70 年代到 80 年代美国进行大规模铁路建设期间，钢轨的生产有了巨大的发展。1902 年以前，美国的路轨几乎全部用贝塞麦钢制造，因为直到 1902 年以后才发现用平炉炼制的钢是一种优质材料。然而，对于铁路车辆的车轴来说，在 1900 年以前，熟铁仍不失为一种上选之材。

对于锅炉制造来说，实践证明钢是一种特别适宜的材料，因为钢板可以轧制得比铁板更薄一些。1859 年，兰开夏郡的锅炉匠开

始使用钢板。几年以后，由贝塞麦钢轧制成的钢板第一次被用来制造轮船。1862年，利物浦的一家公司进行了开创性的工作，用钢板建造了一艘“女鬼号”（*Banshee*）小型桨叶式轮船，并在1863年3月完成了从利物浦到美国的航行，这是第一艘用钢板制成的横渡北大西洋的轮船。1864年，这家公司又用3/8英寸厚的钢板建造了另一艘1250吨级的“克吕泰墨斯特拉号”（*Clytemnestra*）快速大帆船。同一年，这条船成功地抵御住从加尔各答刮来的旋风的袭击[2]。和其他国家相比，大不列颠受造船业对钢铁日益增长的需求量的影响尤为显著，因为到第一次世界大战停止时，英国拥有世界总吨位一半以上的船只。虽然在19世纪下半叶钢制船舶的数量持续上升，但一直到1890年前后，船舶制造业才出现了用钢取代熟铁的重大变革。

将钢材作为建筑工程材料是在19世纪的最后25年间发展起来的。1874年，卡内基钢铁公司在圣路易斯城建造了一座横跨密西西比河的伊兹大桥（Eads Bridge），这是第一座用钢取代铁来制作部分构件的大桥。第一座完全采用钢的桥，是在1883—1890年建造的横跨福斯湾的大桥（边码476、边码505—507）。

从1888年起，钢材逐渐成为高层建筑的结构材料（边码477）。那一年，芝加哥建造了世界上第一座摩天大楼。大楼的下部采用熟铁框架，上部楼层则用贝塞麦钢取代熟铁来构筑框架。1889年巴黎万国博览会上，最引人瞩目的是法国工程师埃菲尔（Gustave Eiffel，1832—1923）在巴黎建造的埃菲尔铁塔（边码476）。铁塔高984英尺，几乎是以往建造的最高建筑物高度的两倍，所用的结构材料是法国用西门子-马丁炼钢法生产的精制铁。

63

3.5 加工方法

人们对钢铁日益增长的需求，导致了钢铁材料加工方法的改进，

特别是轧钢技术的改进。人们认为1866年英国的克鲁首先采用了可逆式轧机，即让灼热的金属前后来回地通过轧辊。第二年，这种轧机在设菲尔德用于生产。所谓“三辊立式轧机”是在第一对轧辊的上辊上方放置第三个轧辊，这样，无须让发动机倒向即可使铁板反方向再次通过轧辊。第一台这样的轧机由卡尔松德(O. E. Carlsund)于1856年在瑞典的穆塔拉建造。然而，伟大的瑞典土木工程师普尔海姆(Christopher Polhem，1661—1751)早就提出过这种设想(第Ⅲ卷，边码342—343)。在英国，劳斯(Bernhard Lauth)于1862年在伯明翰他自己的工厂里引进了这种轧机(图19)。

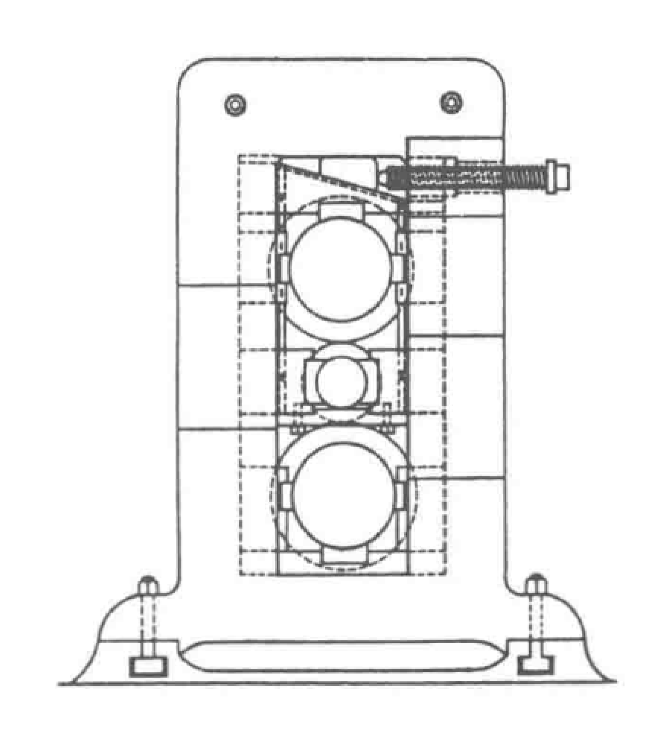


图19　劳斯的三辊立式轧机，1862年。

大约在同一时期，连续式轧机也问世了。它由若干个轧辊机架组成，这些轧辊机架一个跟着一个排列，尺寸和功率逐个减少。早在18世纪，有人也提出过这种设想。1789年，哈策尔迪内(William Hazeldine，1763—1840)因这种设想而获得了英国专利，但他的发明没有得到实际应用。直到1862年，另一位英国人曼彻斯特的贝德森(George Bedson)采纳了这种设想，制造出一台连续式轧机并获得了专利。7年以后，英国制造了一台这种类型的轧机，把它运到美国，安装在马萨诸塞州的伍斯特。美国工程师们把连续式轧机和三辊立式轧机都发展到了非常高的水平。

曼尼斯曼制管方法在1885年取得专利并公布于众(边码629)，这在钢铁加工业中轰动一时。用今天还在广泛使用的这种方法，可以制

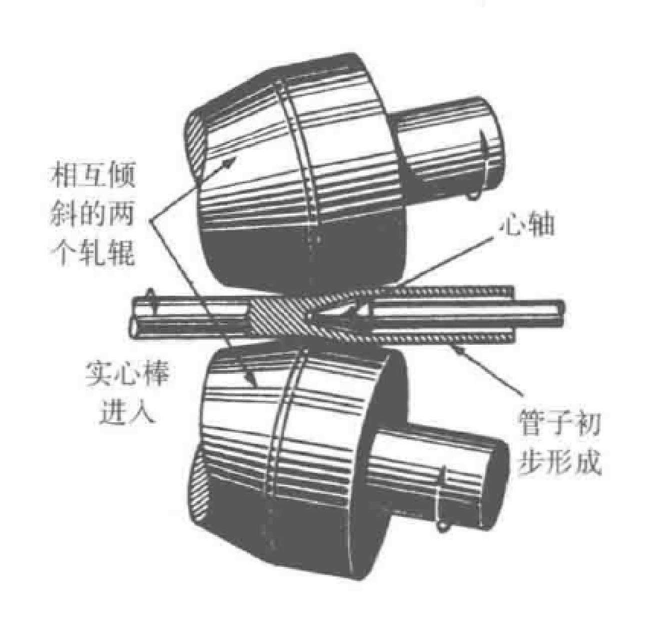


图 20 制造无缝钢管的曼尼斯曼方法。

造出比焊缝管更为精确的无缝钢管。大约在 1860 年，德国雷姆沙伊德的钢铁加工业主曼尼斯曼（Reinhard Mannesmann）就已提出了这种设想（图 20）。一根红热的圆钢被塞到两个互相倾斜并朝着同一方向旋转的轧辊之间，在这两个轧辊的作用下，圆钢在两辊之间被向前拉出，并离开中心向四周扩展，形成一个空腔，它被正好位于轧辊那一边的一个装在心轴上的尖端压挤成圆形。在 1893 年美国芝加哥举行的万国博览会上，当有人问美国发明家爱迪生（T. A. Edison）什么展品留给他的印象最深刻时，爱迪生立刻回答说是曼尼斯曼制造的无缝钢管。

19 世纪的最后 25 年是以英国和其他欧洲工业国之间的经济关系发生变化为特征的。1870 年以前的 100 多年间，英国以它的技术知识，帮助并促进了欧洲大陆主要工业生产区域的工程技术和运输业的发展，使之达到现代的水平。然而，到 1875 年时，英国的钢铁和工程产品产量的年增长率却开始出现逐渐下降的趋势。在此以前，只有欧洲大陆最先跨入工业国行列的比利时是英国的主要竞争对手，但此时新的竞争对手不断涌现，英国以外国家的工业品产量都在急剧增长。欧洲大陆各国特别是德国的工业发展，达到了能够取代从英国进口工业品的程度。

英国对于工业化的欧洲所起的导师角色已告结束。一批优秀的技术学院纷纷开办起来，比如德国夏洛滕堡和瑞士苏黎世的那些学院、奥地利莱奥本的矿冶技术大学（*Montanistische Hochschule*）等，在这些学院里受过教育的人已能取代英国的工程师和熟练技工。19 世纪 70

年代，英国钢铁工业的基本情况是“学多于教”[3]。

3.6 特种合金钢

碳素钢的硬度非常不均匀，大块的碳素钢更是如此。克服这一困难的办法是在炼钢过程中往钢水中加入适量的其他元素，例如铬、钨、锰、镍等，制成合金钢。合金钢已被应用并将继续应用于许多方面，如用来制造切削工具、重武器以及汽车发动机的钢制部件等。

合金钢是在混合矿石的冶炼过程中偶然得到的。第一次精心炼制的合金钢是由法拉第（Michael Faraday）研制的铬钢。在有关著名的印度乌兹钢的报道激励下，法拉第从1819年起在皇家研究院和一家钢铁厂进行实验研究，刀具匠斯托达德（J. Stodard）是他在这一过程中的得力助手。然而，他们炼制出来的铬钢数量太少了，尚不够进行机械试验。铬钢的大规模生产和商业应用是很久以后的事，直到鲍尔（Julius Baur）于1865年在纽约获得了生产铬钢的专利，钢铁制造商们才开始把注意力转到这个方向。1877年，霍尔策（Jacob Holtzer）在法国的于尼厄第一次以商业规模生产出铬钢，并建议用它来制造装甲钢板和炮弹。

提到合金工具钢的发明时，人们往往把它与英国人马希特的名字相联系，但真正的先驱是奥地利的化学家克勒尔（Franz Köller）。1855年，克勒尔发明了钨钢，并在以后的几年里，在奥地利恩斯河畔赖希拉明一家专门的工厂生产出来[4]。由于这项发明是由奥地利的冶金学家、享有国际声望的权威滕纳（Peter Tunner）向世人公布的，有可能马希特从中学到了一些知识。1868年，马希特在迪恩森林的科勒福德开始炼制他的合金钢（高碳钨锰钢）。只要把炼成的这种合金钢放在空气中冷却，即可达到所要的硬度，因而无须像过去那样用淬火的方法来进行硬化处理。用这种合金钢制成的工具的

使用寿命，至少是原先同种工具的5—6倍。这项发明对需要进行连续加工的制造过程具有特殊的重要性（边码640）。1871年，马希特把他炼钢的炼制机销售权转让给设菲尔德的奥斯本（Samuel Osborn）的公司，后者在此后的几年里，把“R. 马希特的特种钢”传播到世界上几乎所有的机械制造工厂中。马希特认为钨元素对工具钢至关重要，他的这一观点被在设菲尔德和其他地方所做的进一步实验所证实。19世纪90年代，经过他改进的特种钢能以每分钟150英尺的速度切割低碳钢，无须加任何润滑剂，也不会出现破裂现象。

1882年，设菲尔德的哈德菲尔德爵士（Sir Robert Hadfield，1859—1940）宣布发明了锰钢，这被看作合金钢发展史上的一个里程碑。锰先前一直用作炼钢时的一种添加剂（边码55），但其添加量不足以炼出合金钢。在增加了锰的添加量以后，钢就变得极脆。后来，哈德菲尔德发现，当锰的添加量进一步增加到12%—13%时，这种脆化效应便消失了。如果把这种钢加热到1000℃并放到水中淬火，它的硬度便能达到不寻常的程度。具有这种硬度的钢可以应用于需要非常硬的金属的场合，例如岩石破碎机以及铁轨两端的衔接处和路轨道岔。

除了发明铬钢，法拉第还发明了镍钢，但是他的这项发明没有得到实际应用。费希尔（Johann Conrad Fischer）重新发明了镍钢。1824—1825年的冬季，他在瑞士沙夫豪森自己的钢铁厂中生产出了镍钢，并因此获得奥地利的一项专利权[5]。1888年，法国勒克勒佐的施奈德（Schneider）的公司开始生产工业用镍钢，并把它推向市场。接着，很快又出现了镍–铬系合金钢。美国的公司迅速看到了高速合金钢的优点，但在1906年以前，即使在美国也只是非常有限地应用高速合金钢。

66

3.7 后来的炼钢炉类型

虽然大部分合金钢都用平炉生产，但高品位的合金钢是用电炉炼制的，包括用来制造各种切削工具和模具的钢和不锈钢。在这种炉子中，热量靠电弧而不是燃料产生。用焦炭做燃料时，钢水中不可避免地会掺入各种杂质，用电弧来加热则会使杂质减少到最小程度。然而，用电来炼钢非常昂贵，因而到 1900 年前后，除了试验用的电炉以外，实际生产中使用的电炉数量仍然非常少。

用来冶炼铁矿石或金属铁的第一座电炉由法国化学家皮丘(Pichou)建造，当时他是巴黎应用化学学校(École de Chimie Pratique)的实验教师。1853 年，他获得了一项关于电在冶金工业上的应用，特别是在炼铁方面应用的法国专利，同时还获得了英国专利 [用的是约翰逊(Johnson)这一名字，此人可能是一个专利代理人]。皮丘打算建造一座更大规模的电冶炼炉，但他未能实现这一宏伟目标，因为他的计划已远远超越了他所处的时代。

1878 年和 1879 年，C. W. 西门子建造了一些新型炉子并取得了专利。这些炉子是小型间热式电弧炉，由一只用绝缘材料制成的具有横向可调电极的坩埚组成，电极是空心的，因而可以通过它向炉内充入一种适宜的气体，以得到一种还原的或惰性的气体环境(图 21)。

由于受钢材需要量增长的不利影响，熟铁的产量下降了。与此相反，生铁的产量则明显增长，其中大量生铁被冶炼成钢材。1850 年，全世界的生铁产量约为 475 万英吨，到 1900 年时已接近 3900 万英吨。在我们正在讨论的这个时期内，美国的生铁产量超过了英国。在 1900 年之后的几年中，德国也超过了英国。从 1840 年前后到 1865 年间，英国

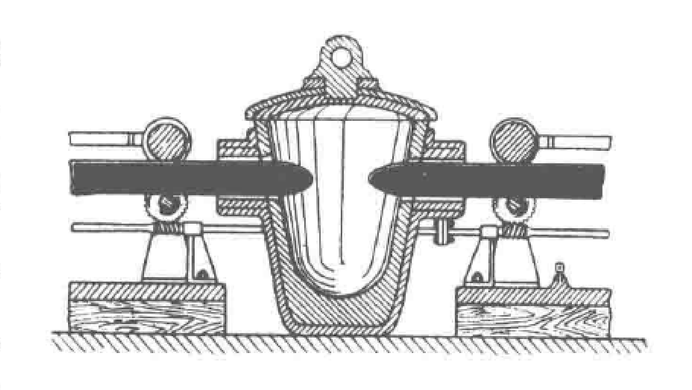


图 21 西门子的间热式电弧炉。

的生铁产量占世界生铁总产量的一半以上。1865年以后虽然继续增长，但呈现的增长趋势非常适中，根本无法与美国和德国的飞速增长趋势相比。英国失去了它在炼铁行业中的领先地位，铁的年产量在世界总产量中的比例减小了，到1900年时，下降到只占世界年总产量的1/4以下。同一时期，美国的生铁产量迅速增加，在19世纪最后10年中，呈现出缓慢却稳定增长的趋势。19世纪中叶，德国的生铁产量仅占世界总产量的1/5，但这一比例到1900年时达到1/4。在其他铁生产国中，俄国的生铁产量增长最快，到19世纪末时是1850年的14倍以上，大约占世界总产量的7%。

英国钢铁产量在世界总产量中所占比例的减少主要是由经济上的原因引起的，例如美国对进口钢材征收重税以及欧洲大陆上工业竞争对手的不断涌现，而绝非因技术上的退步所造成。在炉子使用技术的改进、高炉向现代形式发展以及在考珀的蓄热式热风炉方面（边码58），英国同其他国家一样作出了贡献。但是，自从中世纪后期出现高炉以来，与所有其他类型的炉子具有明显区别的主要特点甚至一直保留到1850年以后。这种特点就是具有前炉缸，因为它可以方便地从中舀出供铸造用的铁水，所以被铁器制造商们一直保留下来。保留前炉缸的主要原因，是人们认为它在不受阻碍地伸入炉缸内清除炉渣方面是必不可少。过去在冶炼过程中，炉渣往往会附着在炉壁上和风口的四周，然而采用尼尔森（Nielson）于1828年发明的热风除渣法（第Ⅳ卷，边码109）即可大体消除炉壁附着炉渣的危险性，热风形成的高温能促进炉渣液化。

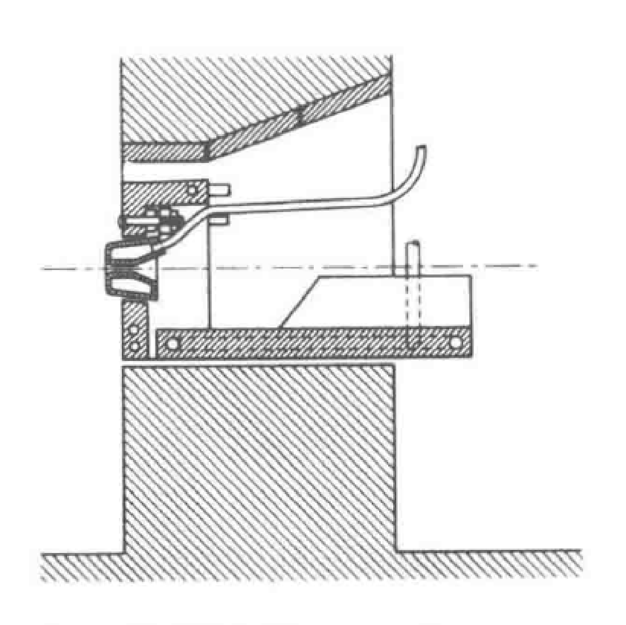


图22　吕尔曼的水冷渣口，1867年。

滕纳（Tengna）在操作奥地利炼钢炉方面具有丰富的经验。在这种炉子中，由于使用了高品位的易熔矿石，渣量非常低。滕纳最先提倡舍弃前炉缸，完全封闭炉缸。然而，直到1867年，德国工程师吕尔曼（F. W. Lürmann）才冲破了传统观念，在离奥斯纳布吕克不远的格奥尔格斯马林许特建造了第一座有着封闭式炉缸的高炉。这座高炉上装有4个风口。吕尔曼发明了用装在风口下方不远处的水冷渣口（图22）来分离出炉渣的方法，取代了过去所采用的让炉渣周期性地流出并通过挡料圈中的一个槽口来分离出炉渣的方法。封闭式炉缸可以更好地保持炉温。过去，每次打开前炉缸出铁和出渣时总会损失大量的热量。吕尔曼的创新能使炉温变得更高，从而可以在增加了高度的高炉中获得更多的生铁产量。1860年以前，高炉的平均高度从未超过50—60英尺。19世纪60年代和70年代，在英国的克利夫兰郡建造了平均高度达75英尺的高炉。尽管这些高炉的高度增加了，但炉缸依旧很小。

美国的钢铁制造商最先抛弃了排斥宽型炉的传统观念，采用了一种宽型炉缸，并通过进一步改进创造了现代类型的高炉。这样做的目标是尽可能地提高产量，这也是1880年在美国钢铁工业中开始的"飞速发展"时期的总目标。

第一座具有宽型炉缸的高炉是1880年在匹兹堡附近的埃德加·汤姆森（Edgar Thomson）钢铁厂内建造的"B号高炉"，它归卡内基（Andrew Carnegie）所有。这座高炉的高度为80英尺，炉的直径为11英尺，炉腹[1]的直径为20英尺。炉缸壁四周围有铸铁板，但开始时没有采用冷却板。炉身和炉腹的砌砖由6根铁带组成，并被用板条支撑的衬架结合在一起。第二年，衬架又被铁制外套所代替。炉缸的直径增大后，风口的数量便可增加到8个。和过去的高炉相比，风口稍稍伸进炉缸内部，并且安装在相当高的位置上。由于做了这些改

1 炉腹是指炉身下部和炉缸顶部之间的锥形部分。

变，高炉的产铁量增加到每星期1200吨，而过去每星期的最高产量为800—900吨。

69 1889年，埃德加·汤姆森开始使用混铁炉。在铁水倒入炼钢转炉以前先经混铁炉混匀的设想，最初由英国的戴顿（William Deighton）提出并于1873年获得了专利。在埃德加·汤姆森钢铁厂内最早建造的两座混铁炉的容量都不超过80吨，但很快它们就增大了容量。混铁炉不仅能确保为炼钢转炉提供均匀的铁水，而且能除去杂质，并使几个炉子中的铁水在混合以后变得更为均匀。到20世纪初期，混铁炉的应用已变得相当普遍。

1900年以前所做的其他改进进一步提高了高炉的效率，使产量达到了前所未有的高水平。主要的改进在于降低了炉腹的位置，进一步增大了炉缸的直径和风口的数量，安装了具有内部蛇形管的水冷板，用以冷却炉缸和炉腹的四壁。高炉的高度最终增加到100英尺，甚至更高（图23）。

到19世纪末，以用焦炭在高炉中生产生铁作为基础的现代钢铁工业被引入世界主要的产铁国家中。1800年以前，英国一直处于领先地位，后来被欧洲的其他国家赶超，到1850年前后，美国当上了领头羊。俄国由于拥有丰富的森林资源，因木材缺乏而给炼铁造成困难的局面出现得比较晚，到1869年至1870年才在顿涅茨煤田建造了第一批用焦炭来炼铁的高炉。印度也想建立起欧洲式的钢铁工业，但由于欧洲人难以忍受那里的气候，很难从欧洲招募到合适的工人，因而障碍重重。1875年，孟加拉钢铁公司建造了印度第一座焦炭炼铁炉，但只运行了不到4年。1881年，英国政府接管这一钢铁厂，并增建了两座高炉。然而，直到1903年，印度才开始有效地发展起自己的钢铁工业，孟买的工厂主塔塔（J. N. Tata）开始在印度中部的钱德拉布尔建造一家只雇用印度人的大型钢铁厂。1893年，中国在汉口对岸的汉阳建造了第一家现代化的铁厂。1879年，日本

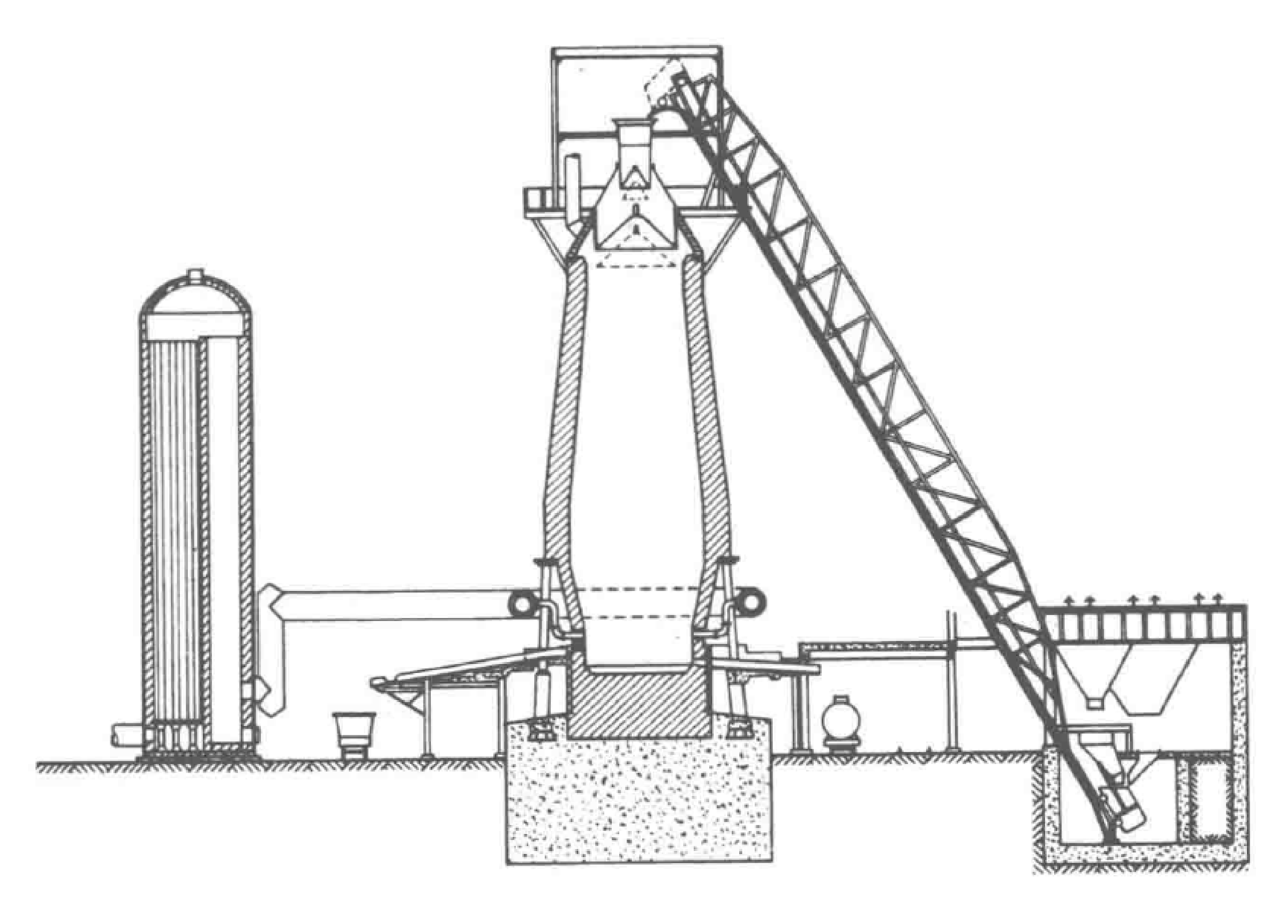


图 23 高炉（中），热风炉（左），提升焦炭和矿石加料的输送机（右）。左边出渣，右边出铁。

在八幡开办了国营钢铁厂，并于 1901 年建成了第一座高炉。

到 1900 年，对钢铁工业发展和进步的总方向起决定作用的所有主要发明和改进都已完成。不过，最突出的发展时期是 19 世纪中期的 1850 年至 1865 年。在短短的十几年里，钢铁工业的伟大开拓者——美国的凯利、英国的贝塞麦和马希特、德裔的西门子兄弟、法国的埃米尔・马丁（Émile Martin）和皮埃尔・马丁，以及瑞典的约兰松——奠定了钢铁时代的基础。

相关文献

[1] Mitchell, J. *J. Iron St. Inst.*, 183, 179–89, 1956.

[2] Lord, W. M. *Trans. Newcomen Soc.*, 25, 171, 1945–1947.

[3] Burn, D. L. 'The Economic History of Steelmaking, 1867–1939', pp. 43–44. University Press, Cambridge. 1940.

[4] Walzel, R. *J. Iron St. Inst.*, 168, 369, 1951.

[5] Schib, K. and Gnade, R. 'Johann Conrad Fischer, 1773–1854', pp. 50–51. Fischer, Schaffhausen. 1954.

参考书目

Bessemer, Sir Henry. 'An Autobiography.' Offices of *Engineering*, London. 1905.

Borchers, W. 'Electric Furnaces' (trans. from the German by H. G. Solomon). Longmans, London. 1908.

Boucher, J. N. 'William Kelly: a True History of the So-called Bessemer Process.' Published by the author, Greensburg, Pa. 1924.

71

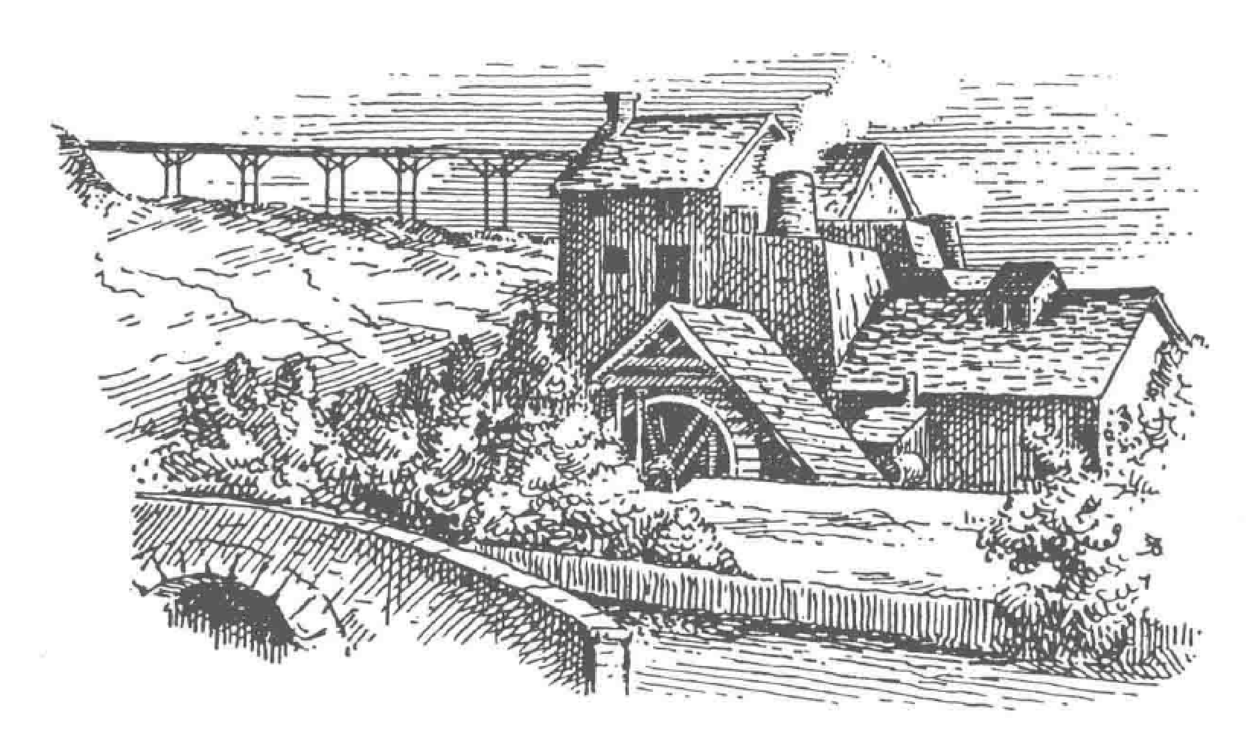
Clapham, Sir John H. 'An Economic History of Modern Britain', Vols 2 and 3. University Press, Cambridge. 1932, 1938.

Davies, M. E. 'The Story of Steel.' Burke Publishing Company, London. 1950.

Desch, C. H. "Metals as Engineering Materials." *J. R. Soc. Arts*, 88, 599–606, 1940.

Jeans, J. S. 'The Iron Trade of Great Britain.' Methuen, London. 1906.

Johannsen, O. 'Geschichte des Eisens' (3rd ed.). Verlag Stahleisen, Düsseldorf. 1953.



克莱达奇 (Clydach) 炼铁厂，1813 年。

第4章 金属提炼的新方法

R. 查德威克（R. CHADWICK）

4.1 概述

在19世纪初期，人们从难以还原的金属氧化物中提炼出来的金属，只局限于自古以来已经熟知的那些少数品种。提炼的方法也是沿用早期流传下来的方法，即用木炭或煤来熔炼矿石，从而得到铁、铜、铅、锌、锡和汞。银是从熔融的铜和铅中分离出来的，以天然形态存在的金采用简单的手洗操作即可获得。拉瓦锡（Antoine Laurent Lavoisier，1743—1794）曾指出，地球上还存在着许多别的金属。但是，在汉弗莱·戴维爵士（Sir Humphry Davy，1778—1829）取得一项新发明以前，人们一直无法把这些金属从“难以还原的金属氧化物”中提炼出来。戴维使用他新发明的原电池，成功地制得了钠、钾、镁以及其他一些碱土金属。1825年，奥斯特（H. C. Oersted，1777—1851）分离出了铝。在整个19世纪，通过化学家们的勤奋努力，金属一览表中添加了越来越多的新成员。即便如此，工业上所能获得的金属也只占大自然提供的一小部分，再加上制取方法非常困难，人们并不相信金属工业在短期内会出现美好的前景。

不仅在已经确认的那些金属冶炼方法和冶炼规模方面取得了惊人的进展，而且在至今还被认为是化学珍品的那些金属的提炼方法的开发和发明方面也同样如此，这是19世纪下半叶的特征。这种进展的

规模可以用1850年、1875年和1900年的世界金属产量（边码73）来反映。在19世纪最后的25年中，所有普通金属产量的增长率大大超过了前三个25年的增长率，而镍和铝的产量主要是在最后10年内增长起来的。

化学和工程在改造旧的以及发展新的金属提炼方法方面，发挥了各自的作用。化学为人们提供了古代冶金工艺的基本知识，其中包括木炭或煤的还原作用。由于对金属冶炼的工艺原理有了较深刻的理解，人们才能合理地去改造旧的工艺方法和发现新的更有效的还原剂。化学还使人们有可能找到一些精确的分析方法，用来测定和控制金属中间产品、废弃的矿石以及矿渣中各种化学成分的含量。化学还提供了有关耐火材料的知识，提高了炉衬对矿渣的耐蚀性，从而可以在更高的温度下进行冶炼。此外，化学科学还使人们找到了从矿石中分离高纯度金属氧化物的方法。如果没有这些纯金属氧化物，像铝、钨等金属的生产是不会取得成功的。

73

世界金属产量（吨）

	1850年	1875年	1900年
铜	55000	130000	525000
铅	130000	320000	850000
锌	65000	165000	480000
锡	18000	36000	85000
镍	20	500	8000
铝	可忽略	2.5	7300

工程为处理大量矿石提供了各种手段。除了采矿作业（第Ⅳ卷，第3章），人们还为矿石的碾磨、粉碎和以矿浆的形式泵送精矿粉建造了工厂。由于采用了大功率的鼓风机，冶炼过程本身也加快了发展步伐。终于，在1850年至1900年期间，发电设备开始应用于工业

（第9章）。到19世纪末20世纪初，戴维和奥斯特的电解制备法开始从实验室规模转变为工业生产规模。很短的时期内，人类用于制造业的原材料就增加了一些全新的金属材料，并且为原有金属的提炼和提纯提供了新的方法。

4.2 矿石的精选

对早期的冶金技术来说，在地表附近以富矿形式沉积的次生矿石是一个有利条件。正是由于这种条件，人们才能靠手工选矿来得到品位足够高的精矿砂，古代的熔炼才成为可能。随着金属需求量的增加，选矿生产规模达到的水平使手工选矿的操作方法变得不切实际了。在这个阶段到来之前，次生富矿已被开采完，寻求利用低品位原生金属矿石的冶炼方法，成为人们最迫切需要解决的问题。

74

最古老的矿石精选方法是水洗法。但是，这种最简单的选矿方法只适用于贵金属、某些重金属氧化物和硫化物，例如二氧化锡矿石。像在早期开采锡矿时那样，这种原始的水洗选矿在一系列通常构筑在河床中的木制流槽中进行，或是采用手工“淘洗”(panning)方法。后来，这种“淘洗”专门用于淘金。随着蒸汽动力的出现，人们开始采用机械簸筛法让较轻的矿石成分浮上来。里廷格(Rittinger)的选矿摇床可能是第一台经过科学设计的簸筛机，它们每次簸筛浅浅一层磨细了的矿石，以提高分离效率。

选矿方面的最大进步是在1895年由威尔夫利(Arthur R. Wilfley)作出的，他研制出一种具有平行沟槽的选矿摇床。这种摇床上的沟槽或称捕砂沟在进料端比较深，沿着出口端逐渐变浅，摇床

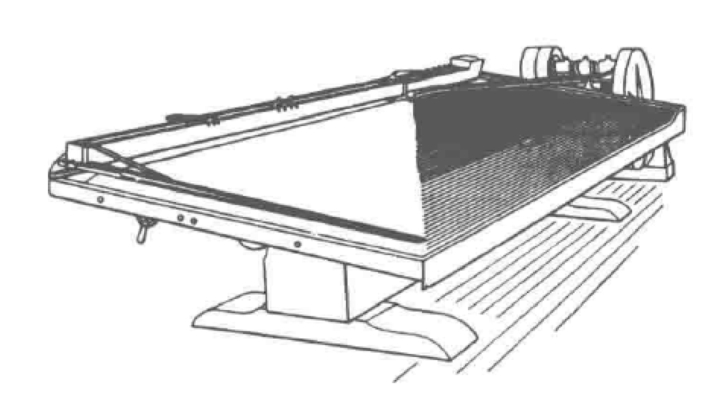


图24 威尔夫利的选矿摇床。

面在出口端稍微抬起一点（图 24）。当水流在沟槽上横向流过时，冲走了沟槽顶部较轻的矿砂颗粒。由于矿粒向沟槽的较浅部位移动，较重的颗粒往往会被分离出来。如果仔细进行调节，就可以沿摇床的不同部位分离出许多成分。

磁性分离法是在 19 世纪后期发明的第二种矿石精选方法。它将粉碎得很细的矿砂在一条传送带上通过，传送带则处在大功率电磁体的两极之间。这种方法起初用于分选含铁和不含铁的矿砂，到 19 世纪末期还用于分离那些磁化率稍有差别的矿物。

最后，浮选法成了获得精矿砂的一种主要工艺方法。20 世纪初，它被用于从矸石中分离出大多数低品位的硫化物矿，例如含铜黄铁矿（铜铁硫化物）、闪锌矿（硫化锌）和方铅矿（硫化铅），以及用于去除金矿石中不需要的和有害的成分。矿石浮选法的前身是海恩斯（William Haynes）在 1860 年提出的一种工艺方法，具体是将磨得很细的矿砂与水及一种黏性的油相混合。用这种方法处理的硫化物矿砂不会被水浸湿，但能集聚于油中，因而矸石能被水清洗干净。由于需用大量的油，而且分离的效率很低，这种方法以及由它演变出的其他各种方法的使用价值被证明是很有限的。1901 年，波特（C. V. Potter）和德尔普拉（G. O. Delprat）进行了第一次现代化的浮选操作，只需使用少量的油，混合物则用空气进行搅拌。硫化物颗粒吸附了油，便不会被水润湿。换句话说，它们得到了很强的表面张力，所以能很容易地被空气气泡带走。1901 年，新南威尔士的布罗肯希尔（Broken Hill）第一次运用浮选法来精选锌矿。从那以后，这种方法被迅速地推广应用，而且技术发展得更加精巧。最终，由于应用了特殊的表面活性添加剂并小心控制了水溶液的 pH 值 [1]，运用浮选法可以从贫矿石中分离出大多数重金属的硫化物，还可以有选择地分离出像闪锌矿和方铅矿等矿石中的某些成分。

75

1　pH 值是一种表明水溶液酸碱度的符号，是氢离子浓度倒数的对数。

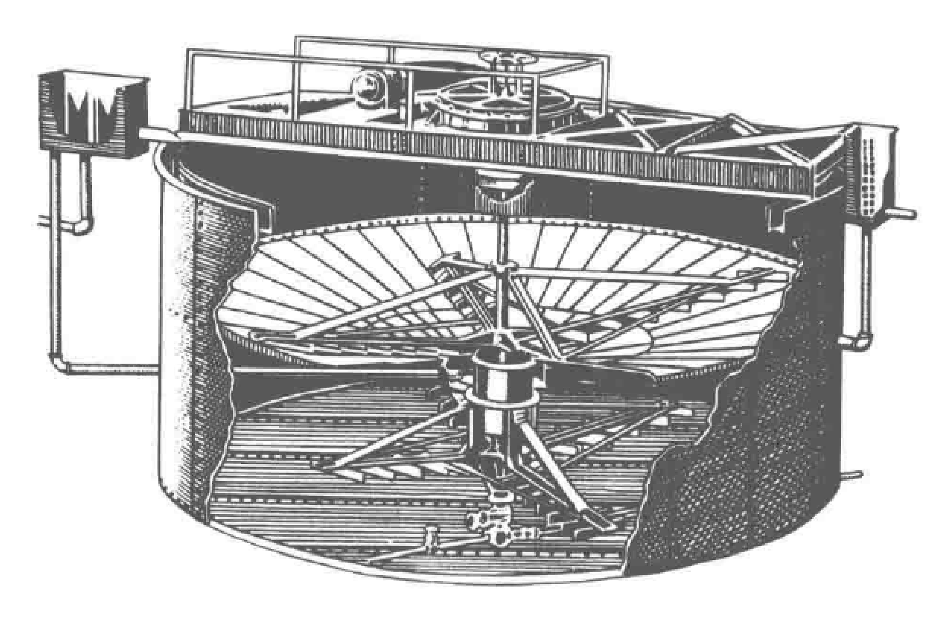


图 25　用于提高水悬浮液中固体含量的多尔浓缩机。

在实际应用浮选法时，应该在球磨机中注水将矿石磨细，然后在通过分选机时靠离心力分离出粗粒子，并将它们返回球磨机中再次磨细。接下来，把矿浆稀释并用适当的油处理后，送入一组木槽的最高层中。这时，通过木槽底部带孔的管子吹入空气，形成的矿沫从侧面流出，剩下的矿浆便流入下一层木槽中，在这里按同样的方法再次对矿浆进行处理，以分离出更多的相同成分或不同成分。这样，矿浆在到达底层木槽之前，其有用的矿物成分都被选了出来，底层木槽中的残余物已成废料，用泵将它排除。最后一个步骤是尽量除净精矿砂中的水分，它是在多尔（Dorr）浓缩机（图 25）中完成的。在这里，固体悬浮液被一些耙子轻轻搅动，使固体颗粒沉积于锥形基底的中央，排出的矿浆固体含量高达 70%。

76

4.3　新工艺或改进后的工艺

要论述提炼技术中所有最主要的变化和进展，即便只限于普通金属，也需要比现在大得多的篇幅。因此，下面我们只对其提炼方法涉及全新原理的那些金属，或者对那些首次进行工业提炼的金属加以论述。铜将是突出的重点，因为继铁之后，铜在 19 世纪后期成了最重要的金属，而且是第一种用电解法来精炼的金属。在这一时期，镍的产量在开始时很少，但后来成为工业上的一种重要金属。大约到 19

世纪末期，人们首次提炼出了铝和钨，并使它们具备了商业意义。因为金和银是精炼铜和镍的副产品，所以也将予以介绍。对于提炼许多不太普通的金属来说，完全新型的铝热还原工艺非常重要，所以也要简述这种工艺方法。本文没有讨论锌、铅和锡的提炼方法，因为虽然当时出现了一些新的工艺方法，但它们在原理上并没有什么重大的变化，而且这些技术的主要发展是在这一时期的初期出现的，已在其他地方（第Ⅳ卷，第6章）予以介绍。

4.4 铜——变换着的工业图景

19世纪初期，铜的世界总产量约为9000吨[1]，其中3/4在南威尔士提炼。这一地区的炼铜业主要位于泰韦河畔的斯旺西流域，所使用的矿石用船从康沃尔郡和安格尔西郡的矿山运来。到19世纪中叶，铜的世界总产量达到了5.5万吨，斯旺西仍然是世界炼铜工业的中心，年产量约为1.5万吨，而且在1860年前后，这一地区的冶金工业进入了顶峰时期。在泰韦河畔，当时约有600座冶炼炉主要进行铜的冶炼。从此以后，南威尔士的炼铜业开始衰落。大约在1870年以后，南威尔士的铜产量对于世界总产量来说不再至关重要，但是在炼铜技术的发展方面，斯旺西地区仍然作出了重要的贡献。后来，西班牙、智利和北美相继在炼铜工业方面处于领先地位，到了19世纪末期，美国的铜产量超过了世界总产量的一半。

77

在炼铜业中，这些新企业的主要特点是把采矿、熔炼和精炼集中在同一地点，从而节省了长距离输送矿石所需的费用。费用节省的另一个原因是扩大了生产规模，因为在智利和美国的密歇根州、亚利桑那州、蒙大拿州都拥有巨大的矿体。当时采用的形形色色的生产方法

1　布朗（Nicol Brown）和特恩布尔（Charles C. Turnbull）于1900年引用了一个1.6万吨的世界产量数据。多出的数量包括了俄国、日本和南美的产量，但是这个数字是估算的，并没有证据支持。

是如此之多，以至于任何扼要的说明都不够完全。然而，这些方法大部分是在韦尔什（Welsh）生产工艺的基础上发展起来的，主要的变化是取消了某些分离工序，因而简化了操作，大大地缩短了完成熔炼过程所需的时间，并且减少了燃料的消耗。在矿区进行熔炼的最大优点也许是因为它只需处理单一类型的矿石，所以工艺过程可以被"剪裁"得适合于这种矿石的标准化生产和操作。另一方面，斯旺西的冶炼商们采用了越来越多的方法和手段来处理矿石，既能处理金属含量为 5% 的低品位硫化矿类矿石，也能处理从西班牙廷托河矿区运来的金属含量高达 70% 以上的沉积矿。由于炼铜业的生产利润越来越少，斯旺西的工业界渐渐把注意力转向发展副产品和开发边缘产品，因而它的产品中包括了银、金、镍和钴。从烟道气体中提取出来的硫，被用来建立一种范围很广的重化学品工业，锌的熔炼也变得日益重要。然而，在这些新兴的产业中，没有一个能够把熔炼工业从没落中挽救出来。

78

运到斯旺西的矿石和精矿砂，通过公开拍卖或"标价"的形式由冶炼商们收购。每一批或每一船矿石都被倾卸在堆置场上，由各个冶炼厂商去取样分析，然后分别提交一份密封的投标书，矿石卖给出价最高的投标者。后来，一些大厂商在投标时相互勾结，使这一制度变得声名狼藉，因而许多矿石都是私下进口的。

不论是在繁荣时期还是在最后的衰落阶段（1921 年进行了最后一次熔炼），斯旺西一直沿用自己传统的冶炼方法，就像图 26 这张工艺过程示意图所展现的那样。这种工艺方法的基本思路是对不同种类的矿石采用不同的工序来进行冶炼，并通过精心设计的步骤来处理炉渣和废料，以回收残余的铜。

由于泰韦河谷的冶炼炉高度集中，形成了由二氧化硫和煤燃烧后生成的混合物——铜雾，严重损害了斯旺西居民的健康，给周围农村也带来了极大危害。在此期间，发生了许多诉讼案件，但是没

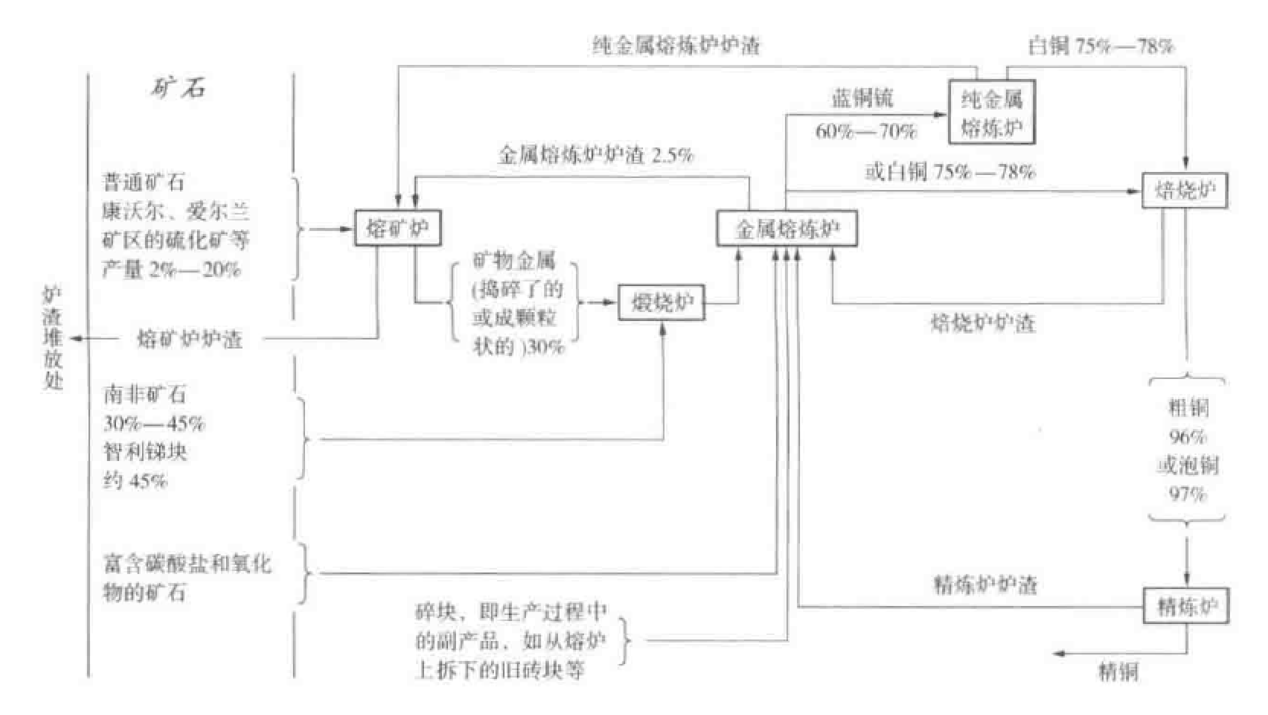


图 26　韦尔什铜冶炼方法的流程图。

有一件诉讼纷争能够取得圆满的结局[1]。人们进行了多次减少烟雾排出量的试验，但均未取得成效。1865 年，维维安（Henry Hussey Vivian，1821—1894）在哈福德（Hafod）冶炼厂安装了一些格斯登赫夫（Gerstenhöfer）炉，到最后一共安装了 28 座这样的冶炼炉[1, 2]，原先用于煅烧的反射炉被这些立式炉所取代（图 27）。磨细的矿粉被送入炉顶的给料器中，由此落到下面的三角形截面的水平栅栏上。炉子开始工作以后，硫化物燃烧产生的热量保持了炉内的温度，红热的矿石分别落到每一层栅栏上。这些炉子建造在以前放置的炉渣堆下方，在炉渣堆的平顶上建造了硫酸制造室，炉内产生的气体沿着烟道输送进去。这样制造出来的酸可以用于生产其他新的产品，例如，用于大规模制造硫酸铜向欧洲大陆出口，用以消灭葡萄树上的葡蚜，也可以用硫酸把进口的磷酸盐矿石转化成过磷酸钙肥料（边码 254）[1]。此外，用硫酸还可制造盐酸、漂白粉和苏打结晶，其副产品芒硝则可用于冶炼工艺。

79　大约从 1870 年起，斯旺西地区开始熔炼镍矿石和钴矿石，不过

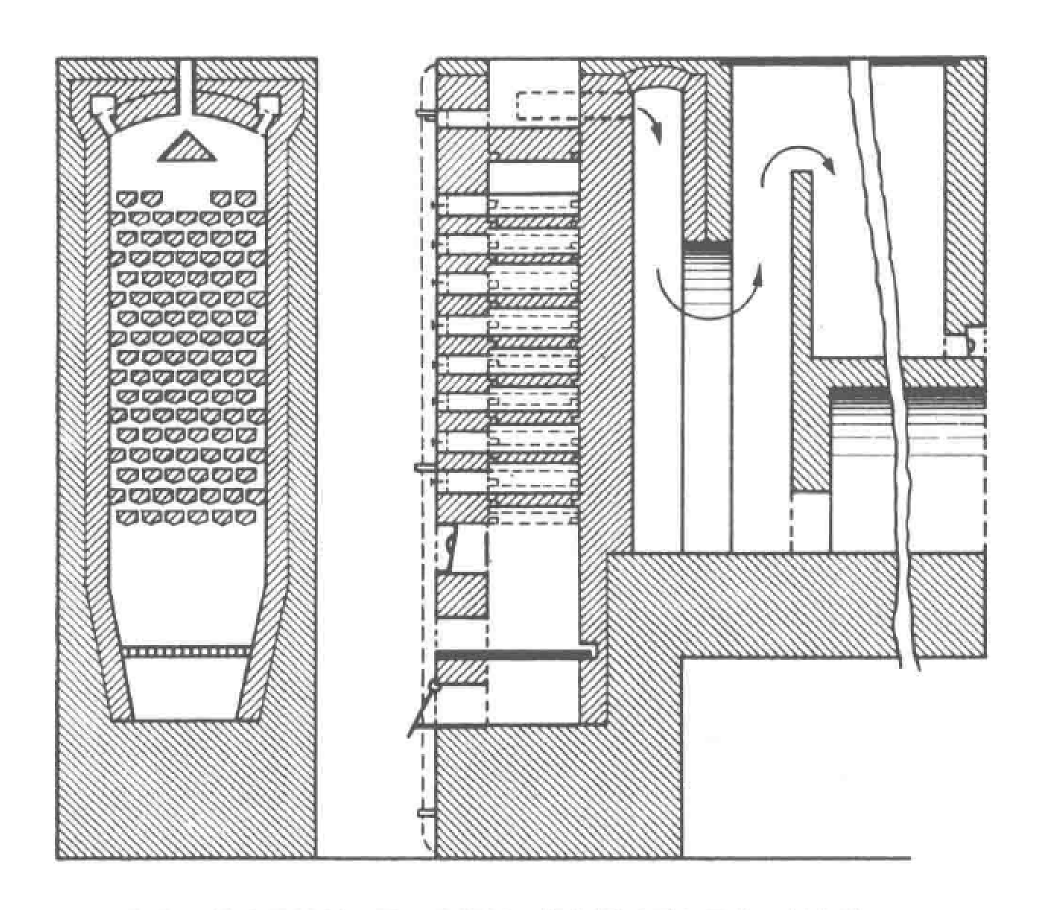


图 27　格斯登赫夫炉的剖面图。此炉用于煅烧铜矿石和回收二氧化硫。

产量很低。当时对镍的需求量很少，但钴是相当重要的，氧化钴被广泛用来为玻璃和瓷器上色。斯旺西地区可能是第一个从红砷镍矿石（*Kupfernickel*）中成功分离出铜和镍成分的地方，银和金则用化学方法从含银的矿石中提炼出来，这些含银的精矿砂是从外地购买的。后来，这些贵金属从电解法精炼铜中提取。这些事情将在讨论相关金属时予以更全面的论述。

虽然在矿山进行大规模的矿石冶炼最先在南美洲进行，后来又扩展到了北美密歇根州和苏必利尔湖地区，但是技术方面的主要进步发生在美国的蒙大拿州和亚利桑那州。在第一次开发这一富矿区的时候，个体探矿者挖出矿石，用小型反射炉或高炉进行熔炼。这种炉子用石头或砖粗糙地砌成，用木炭做燃料。可以认为炼铜工业从 1879 年起步，标志是科罗拉多冶炼采矿公司（Colorado Smelting and Mining Company）在比尤特建造了一座 14 英尺的反射炉。用这座炉子炼出来

的冰铜含有60%的铜，并每一吨含有700—800盎司的银。这种冰铜用船运到国外，大概是运往斯旺西，供进一步冶炼[3]。到19世纪末，亚利桑那州和蒙大拿州的生产能力已经达到年产20万吨，几乎接近世界铜产量的一半。

按照高兰（M. Gowland）的记载，至少到1884年，日本仍一直采用古老的传统炼铜工艺。这种工艺方法是将矿石和木炭混合后熔炼成冰铜，然后往金属表面吹空气，使之在同一座炉子内还原成铜。最后往熔炼池内洒水，金属铜便以玫瑰花形状析出。

4.5 铜——新技术

1879年，霍尔韦（J. Hollway）[5]向皇家艺术学会提交了一份优秀的论文，在炼钢工艺的化学原理方面作出了重要的贡献。他的主要目的是指出，只要在一个密闭的空间内煅烧硫化矿，而不是在开放式的反射炉内焙烧，就可以利用硫化物的燃烧热。应该说明的是，这一观点的提出已经是在斯旺西建造了格斯登赫夫炉10年以后。自热熔炉法是根据霍尔韦的建议直接发展出来的，它采用鼓风炉取代反射炉对硫化矿（二硫化铁）和硫化铜含量高的矿石进行熔炼，成功与否取决于对炉料的精细分级。随着更多地使用从初生矿层中开采的贫矿石，这种操作难以实行下去，因为选矿工艺一律需要把矿石磨成细粉。

在早期阶段，这些细矿粉的处理依赖于一种完全不同的发展。1850年，帕克斯（A. Parkes，1813—1890）引入了第一台具有多层炉床的焙烧炉（图28A）。在这座炉子中，矿石装在上层炉床上，旋转的炉臂把矿石耙到中央，通过缝隙落到下一层炉床上，然后从那里送到炉外。接下来，麦克杜格尔（J. S. MacDougall）建造了一种更为先进的炉子。1873年建造的这种炉子的原型（图28B）有6层炉床，高达18英尺，直径为16英尺[2]。后来，炉床又增加到12层，整个结构是钢制的，炉壁、炉拱和炉床均衬有耐火砖。旋转的炉臂也是用钢材

制作的，并具有内部水冷设施。在这种类型的转炉中，温度能非常有效地受到控制。通过短短的一个操作过程，硫的含量便可减少，而用老式的韦尔什煅烧炉把硫的含量减少到这样的程度，则需花费好几天的时间慢慢焙烧。

在所有这些熔炼过程中，通过焙烧除掉硫以后，便产生了冰铜。冰铜是第一个液态金属产品，它的成分随着生产时间和生产厂商的不同而略有变化。例如，8 份互不相干的分析报告表明，冰铜中铜的含量为 32%—46%，铁为 25%—36%，硫为 22%—27%。尽管冰铜炉经历了各种改革和发展，体积和工作效率都提高了，但仍属于反射炉型。作为这种发展的一个例子，图 29 给出了美国蒙大拿州阿纳康达分别于 1880 年和 1902 年建造的两种炉子。前一种类型的炉子长达 16 英尺，最大宽度为 10 英尺，使用木材作为燃料，24 小时可熔炼 12 吨矿石。后一种类型的炉子长达 50 英尺，每天能熔炼 100 吨左右的矿石。若以发热量（卡）来衡量的话，后一种炉子的燃料消耗量小于前一种炉

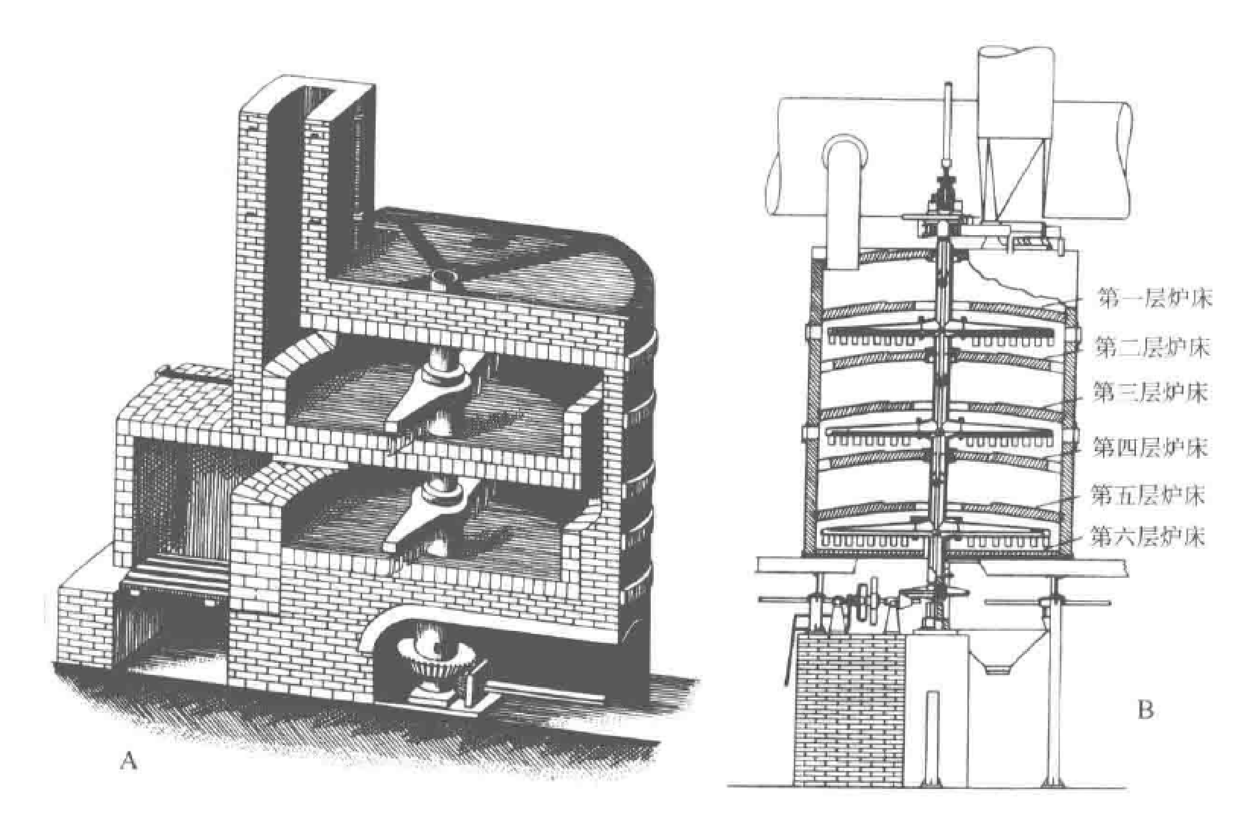


图 28　硫化物矿石焙烧炉的剖面图。
（A）带旋转炉耙的帕克斯焙烧炉，1850 年；（B）麦克杜格尔焙烧炉（简化型），1873 年。

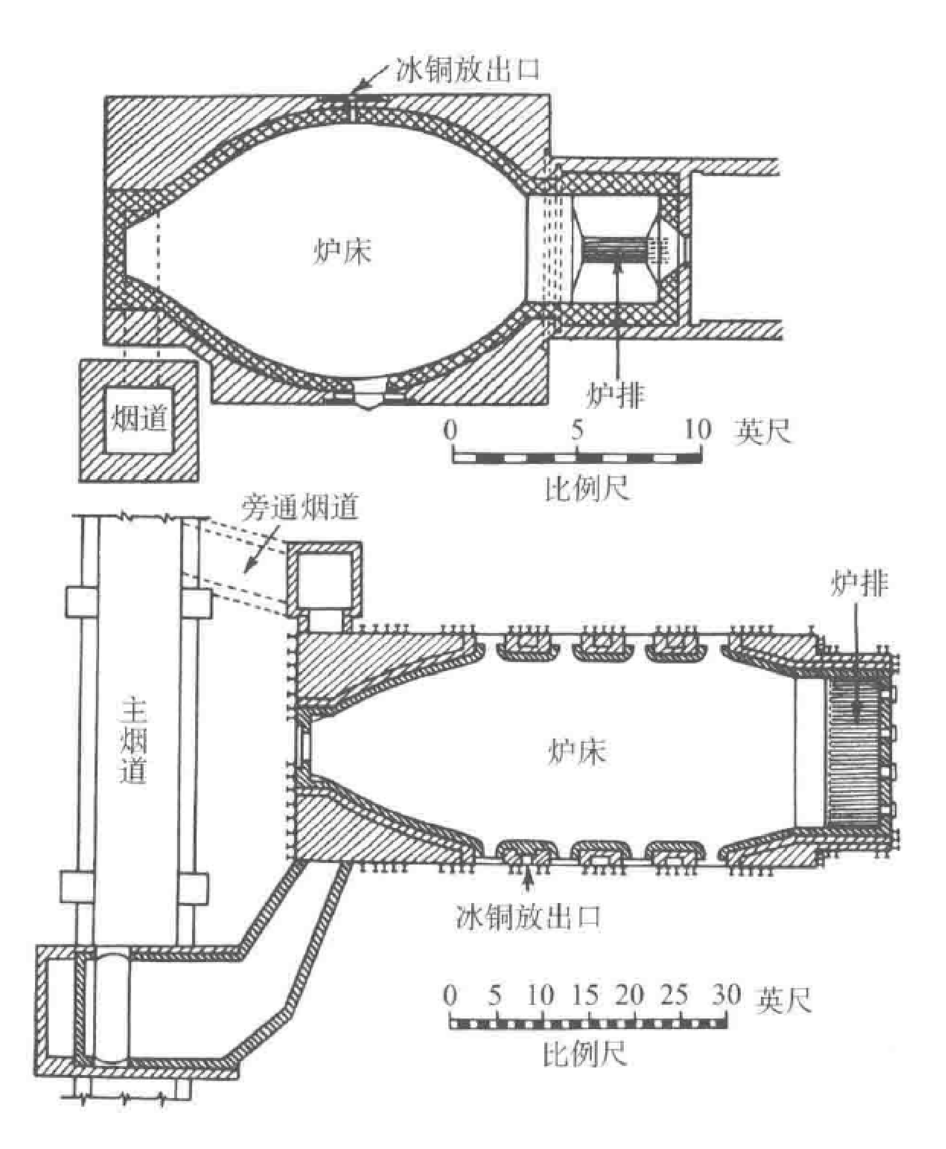


图 29 阿纳康达的用于冶炼冰铜的反射炉的剖面图。
(上)以木材为燃料的反射炉，约 1880 年；(下)以煤为燃料的反射炉，约 1902 年。

子的一半[3]。

冰铜转换成粗铜时，需要除掉大部分硫和铁以制得含铜量为 98.5% 的金属，正是在这种转换中出现了最大的改革。1856 年，贝塞麦提出了无须使用燃料、靠鼓风烧掉生铁中的碳来生产可锻性铁和钢的冶炼方法(边码 54)。在克服了冶金学上的某些困难以后，他终于在 1860 年成功建造了一座实用的炼钢转炉。显然，这种冶炼方法被类推到了冰铜的氧化上，而且由于取消了韦尔什炼铜工艺在“金属炉”内进行的延长处理，实现了节省的目的，这一点同样引人瞩目。用贝塞麦转炉进行炼铜的尝试起初没有成功，这是因为铜具有很高的导热率，炉子底层的固化作用必然会使反应终止。1880 年，法国的马内斯(Pierre Manhès)发明了以他自己名字命名的侧吹转炉，4 年以后，阿纳康达的冶炼厂商采用了这种转炉，立即收到了成效。

82

人们在这种转炉中直接加入液态冰铜，此外还加入了与冰铜中的硫含量成反比的少量焦炭。在反应进行过程中，硫被氧化掉，并与用砂和耐火黏土制成的炉衬中的二氧化硅一起形成液态炉渣。有时，要加一些新的冰铜，一般用两个小时就可以完成反应，此时倾斜转炉便可倒出粗铜，这种粗铜的平均含铜量为98.5%。典型的早期转炉（图30）的初始容量比较小，但由于炉衬很快被炉渣侵蚀掉，在运行两三天后，炉子的容量便从2吨增大到4—5吨，此时必须重新修补炉衬。人们早就意识到应该使用一种碱性炉衬，但苦于没有找到合适的材料，一直未能实现。一直到1909年，皮尔斯（W. H. Peirce）和史密斯（E. A. C. Smith）才研制出耐用的耐火镁砖，很快就被用来制作转炉炉衬。在这种情况下，应在装料时往炉内加入适量的硅砂，使它们与熔融液体中的铁形成炉渣，从而将所含的铁排除掉。

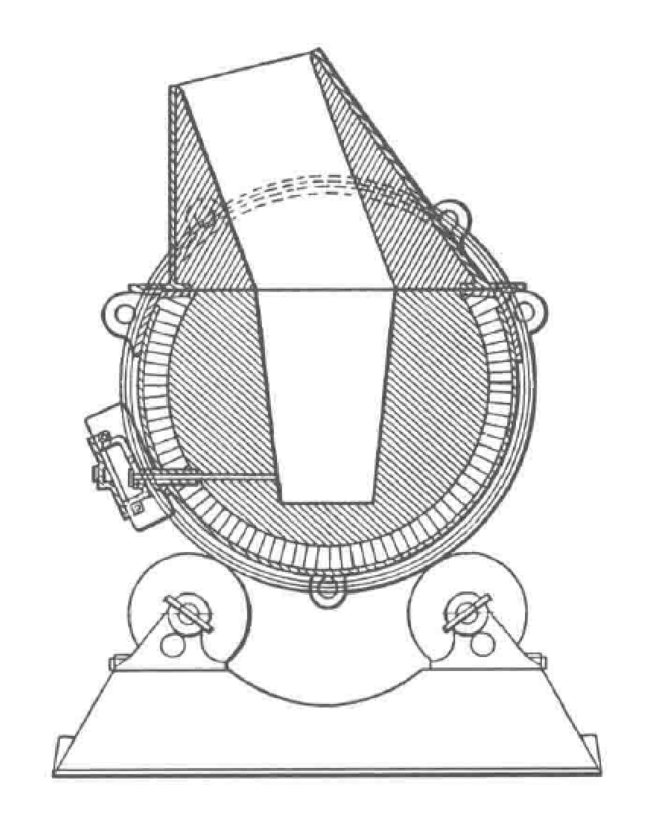


图30　炼铜转炉的剖面图，约1885年。

粗铜（即在斯旺西地区被称为白冰铜的那种纯度稍差的铜）的精炼是为了生产出适于制成锻件的优质“韧铜”（tough pitch），这种精炼工艺在原理及其主要技术实践方面，许多世纪以来一直没有变化（第Ⅱ卷，第2章；第Ⅲ卷，第2章）。用反射炉来熔炼不纯的铜，并往炉内吹入空气使其氧化，此时铜中最多含有1%左右的氧。与此同时，最后残留的微量硫也被烧掉了，铁和其他杂质也被氧化，与添加在炉料中的硅砂形成炉渣，然后往铜溶液表面插入一根粗大的青木杆，还原出铜来。这种方法一直被沿用下来，尚未找到更有效的替代

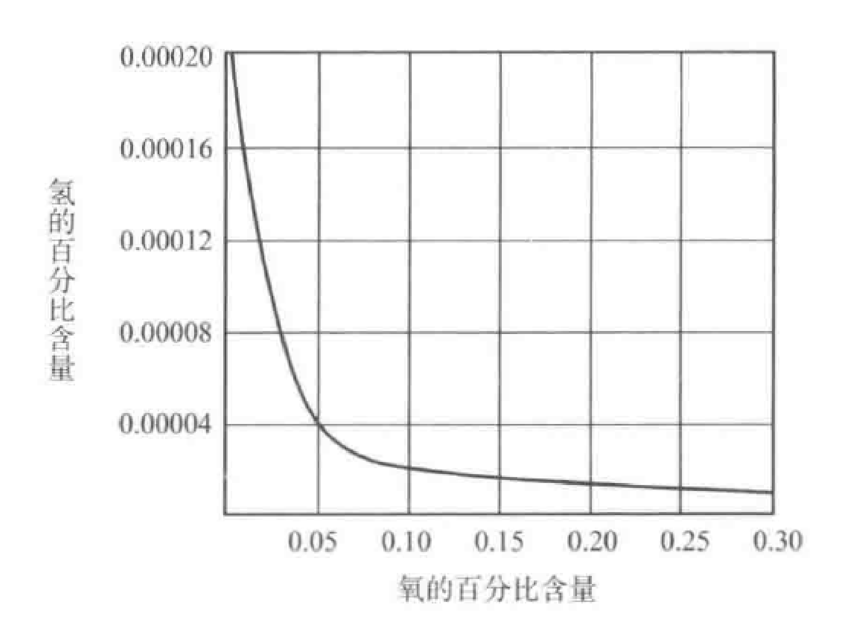


图 31 熔融铜中的氢 - 氧平衡曲线。

方法（参见第Ⅰ卷，边码 587）。当铜样凝固出水平表面时，韧铜便炼成了。熔化的铜液中既含有氧又含有氢，如图 31 所示。当铜液凝固时，这两种气体化合成水蒸气。在铸造时，这些水蒸气便挥发出来，在铸件内部形成微小的气孔，阻碍金属在凝固时的收缩。挥发出来的水蒸气量取决于氢的含量，因为多余的氧总是以氧化物的形式存在于金属中。如果氧被减少得太多，氢的含量便会增多（图 31），结果产生大量的水蒸气，金属呈现多孔状。然而，硫和其他各种杂质消除得越彻底，与韧铜状态有关的氧含量就越少。在铜的早期样品中，氧的含量至少为 0.1%，而且往往要大得多。人们还常常加入一些铅，以使它与微量的硫化合，否则硫会使铜变脆。19 世纪末期炼出的最纯的铜，其氧的含量减少到 0.015% 的程度。

在铜的提炼技术中，最重大的进步或许是在工业生产中引入了电解精炼法。由于发明了发电机，铜的最终用途完全改变了，对铜的主要需求不再来自那些零散的应用，例如做轮船底部的覆材、制造家用炊具和其他器皿以及做蒸汽机车锅炉炉膛的结构材料（从 1840 年起，这一用途变得重要起来）。铜具有良好的导电性和延展性，可以拉成铜线，因而大量地用作导电体，这很快就成为它的主要用途。只有最

84

优质的铜才具有最好的导电性能。市场上提供的用火法精炼的铜固然能够很好地满足所有的其他用途，但它的导电率只是最大导电率的50%—70%，因为这种铜中含有砷、镍、铁和其他一些杂质元素，尽管这些杂质的总含量低于0.1%（其中不包括氧，因为氧能稍稍提高铜的导电率）。虽然苏必利尔湖地区的矿石能通过普通的火法精炼工艺生产出高品位的铜，但一般来说，只有用电解精炼法才能生产出高导电率的铜。有了廉价的电力以后，才能推广应用电解法来精炼铜。反过来，用这种电解精炼铜来制作发电机的线圈和汇流母线，也正是高效的发电能力所需要的。

在1865年的一项专利中[6]，埃尔金顿（James Balleny Elkington）令人信服地描述了一种电解精炼铜的工艺。在以后的许多年里，这种工艺基本上保持不变。埃尔金顿提议，先用粗铜或白冰铜制作一系列的铸铜板，18英寸见方，3/4英寸厚，并在上面铸有挂耳，将它们垂直悬挂在导电母线上，这些导电母线安装在木制支架上。铸铜板作为电解槽的阳极，3个平行并排成对地悬挂在槽中，排与排的间距为6英寸。在这些铸铜板之间以及外侧，挂有16个小一些的负极板，或叫阴极板。阴极板是用轧制的铜板制作的，分4排排列，每排4块。这些阴极板厚1/32英寸，设有挂耳，以便将阴极板挂在导电铜母线上。埃尔金顿提议建造一座设有25个电解槽的装置，一个槽的负极板连到下一个槽的正极板上，照这样把它们连接起来，就构成了一个由25个独立的电解槽串联而成的电路。这一电路由一台永磁发电机提供电源，发电机有“50块各重28磅的充分磁化的永久磁铁，发电机的其他零件数都是与磁铁数成比例的”。用饱和的硫酸铜水溶液作为电解液，电流一直通到阴极板厚度达到0.75—1英寸时为止，电解液则一直使用到溶液中的硫酸亚铁被析出时再被扔弃，因为其中的铜已被回收。埃尔金顿的专利还强调了从阳极淤泥中回收银、金、锡和锑的重要性。1869年，他在另一份专利[7]中提出，在杜仲树胶的薄

板上涂上一层青铜粉末形成一种导电体，铜就会沉淀到胶板上。一旦形成了镀层，树胶便被剥离掉，剩下铜进一步沉淀。用这种剥离法或某些相似方法制备的起镀板是以后所有电解设备的基础，这样就可以避免使用昂贵的轧制铜板。

1869 年，在斯旺西附近的彭布雷（Pembrey）、梅森（Mason）和埃尔金顿的联合炼钢厂安装了第一台电解精炼设备。后来，这家工厂被埃利奥兹金属公司（Elliotts Metal Company）收购。在斯旺西地区，维维安和其他冶炼厂商们也建造了电解工厂，按现在的标准来衡量，它们的规模都很小。工厂的经济效益从阳极中回收昂贵的银和金来取得，使用的粗铜矿石主要产自西班牙和南美洲，含有丰富的贵金属。在威尔士，铜的电解精炼业一直延续到 1912 年左右。

1892 年，美洲大陆上第一座电解精炼厂在纽约的劳雷尔希尔建造[8]。工厂以粗铜为精炼原料，粗铜购自各个产地，贵金属的含量高低是挑选的依据。后来，随着对高导电率铜的需求量越来越大，大多数主要的炼铜业厂商都安装了电解精炼设备。精炼电解工厂成了世界上贵金属以及其他一些不太常见的金属（包括铋和钴）的主要来源地。

到了 19 世纪末期，粗铜精炼业停止了，因为包含在粗铜里的铁和其他杂质会很快地导致电解液变质，而阳极的不均匀溶解则导致了产量的降低。取代的方法是先将金属进行火法精炼，再把韧铜铸成阳极。在电解精炼以后，重新熔化大部分阴极，并再一次用氧化和青木杆还原除气法把它精炼成韧铜。在电解精炼法方面的其他改进则没有太大的特色，例如在结构上主要是确保电极排列得紧密些，以提高电流的效率，经济效益的好坏与此紧密相关。但是，人们仍然采用埃尔金顿制定的一些主要原则。人们在 1850 年就认识到杂质对铜的导电率有不利影响，但是 1856 年铺设的大西洋海底电缆所用的

铜的导电率，只是当时可炼出的最纯铜的导电率的一半。马西森（A. Matthiesen）做了大量的实验，证实了各种不同的金属杂质对铜的导电率的影响，并且把最纯的铜的导电率规定为100%，以此为基础提出了一个导电率分等体系[9]。这种评定方法大约从1890年开始被普遍采用，但是到1913年以后才达成了一项关于导电率国际标准的协议。这个标准要求在20℃温度下具有每立方厘米1.7241微欧姆的最小电阻值。具有这种最小电阻的材料被规定为100%符合《国际韧铜标准》(*International Annealled Copper Standard*)。

4.6 镍

在19世纪的早期阶段，人们就开始少量地提炼镍，并且大约从1824年起，在所谓的“德国银”(German silvers)中应用了镍，即往黄铜中加入20%的镍，就会呈现出银白色的色泽。然而，从中国进口的装饰工艺品是这种合金的更早例子。最初，人们认为这种金属是无用的，因为镍非常脆且易碎。当时人们不知道这种缺点的产生原因，现已明白这是镍中含有杂质的缘故。硫与镍反应后，在构成金属的微小晶粒的边界上形成一层硫化镍薄膜。

1843年，伯特格尔(Rudolf Böttger)指出，可以用电解沉积的方法往其他金属表面镀上一层镍膜[10]。不过，实际开发出这种工艺方法的时间却晚得多。1879年，弗莱特曼(Theodore Fleitmann)指出加进镁以后，镍就会变得坚韧，并且具有延展性[11]，因此可用来进行锻造加工。后来，人们更偏爱于使用锰来代替镁。这两种金属都具有很容易与硫化合的性质，从而可以消除硫的有害影响。1881年开始轧制镍板，最初的用途是制造瑞士20分面值的硬币[12]。

大约从1820年起，许多国家都开始小批量地生产镍。采用的工艺有两种，一种是湿法分离工艺，另一种是以威尔士工艺方法为基础的传统熔炼工艺。例如，斯旺西地区的莫法工厂(Morfa Works)于

1874 年采用了威尔士熔炼法，每个月大约生产 5 吨镍和 1 吨钴[13]。1865 年，加尼尔（Jules Garnier）在太平洋的法属新喀里多尼亚发现了硅酸盐大矿床。1875 年开始开采后，这种矿石很快就成了镍的主要来源。此后的 3 年中，镍的价格大约下降了 2/3。

1883 年，在修建加拿大太平洋铁路期间，发现了巨大的萨德伯里（Sudbury）矿床。许多探矿者被吸引到这个地区，并于 1886 年开始了大规模的开采。起初，这些矿石被用来炼铜，但是很快人们就意识到，这种矿石与德国的红砷镍矿（边码 79）很相似，同样难于熔炼。由于这个原因，原来的大部分开采计划都放弃了，只生产了少量的含有镍的冰铜，用船运到国外去加工。1889 年至 1894 年，维维安在萨德伯里经营着默里矿（Murray Mines），所采的矿石在斯旺西进行熔炼，生产镍和铜。

87

由于全世界对镍的需求量很小，镍的提炼工艺进展得很慢，而且价格很快就跌到了无利可图的程度。但是，在 1889 年赖利（James Riley）发表了他的著名论文以后，这种情况发生了变化[14]。这篇论文指出，往钢中加入镍可以改进钢的性能（边码 66）。奥福德铜业公司（Orford Copper Company）的汤普森（R. W. Thompson）对镍的提炼进行了研究，并在 1893 年公布了以芒硝（硫酸氢钠）的使用为基础的，奥福德“顶底分层”工艺法。自 1844 年以来，斯旺西的炼铜业一直采用这种芒硝（第Ⅳ卷，边码 128）。把芒硝和适量的焦炭一起加在熔化了的含有 48% 镍和 17% 铜的冰铜中，形成一种钠、铜和镍的硫化物的混合物。然后，把这些物质倒入一个大型坩埚里，硫化铜（溶解在硫化钠里）漂浮在上部，硫化镍则沉积在坩埚底部。凝固以后，用大铁锤敲打即可将它们分开（图 32）。重复上述工艺过程，便可使“第二底层”的物质中含有 72% 的镍、1.5% 的铜和 25% 的硫。图 33 给出了这种工艺过程的示意图。用水淋洗掉可溶性钠盐以后，对这些物质进行焙烧或烧结处理，大量的硫被烧掉以后，所得的氧化物中含

88

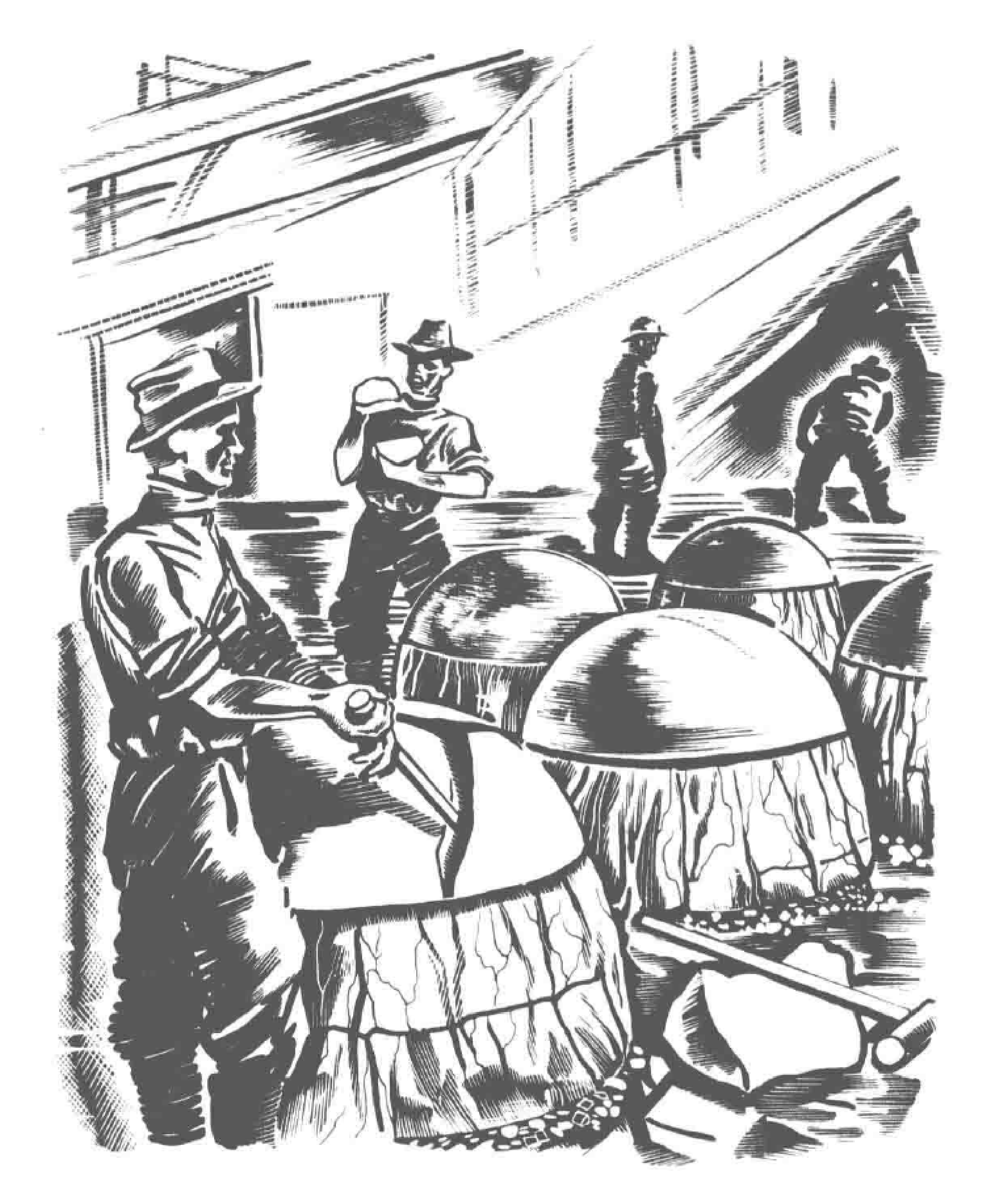


图 32　分离铜和镍的奥福德"顶底分层"工艺过程。

有的硫仅剩下大约 0.5%。把焙烧过的物质压碎，与焦炭混合后装入反射炉中，在这里还原出镍，再熔化后铸成阳极，其中含有约 95% 的镍。接下来，用类似于电解精炼铜的电解槽对这种粗金属进行精炼。与铜的电解精炼一样，从阳极泥中可以回收贵金属，其中含量特别多的是铂。

1890 年，一份向化学学会提交的论文中，公布了这种关于镍提

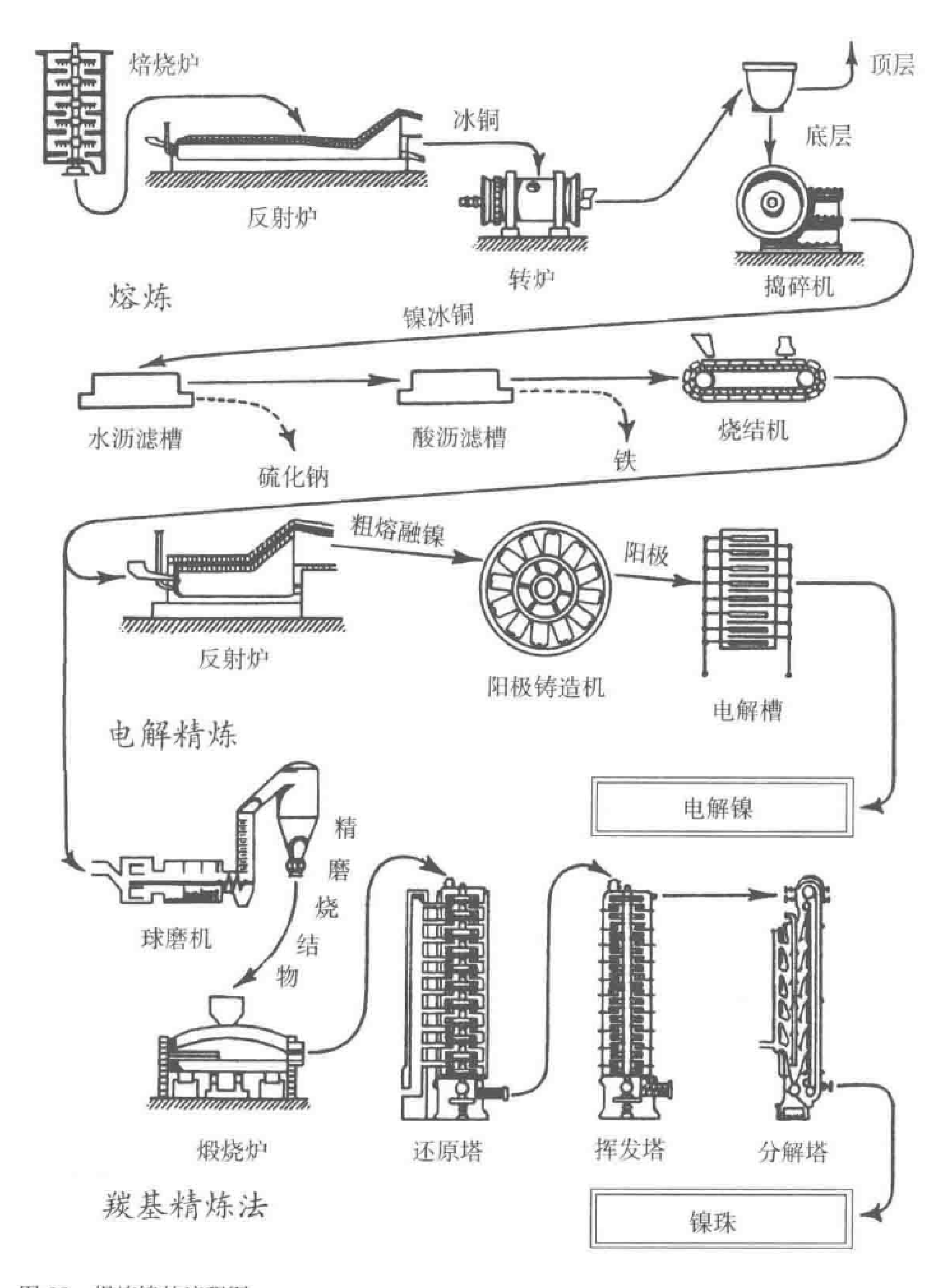


图 33　提炼镍的流程图。

炼技术的杰出发现。后来，蒙德（Ludwig Mond，1839—1909）在温宁顿庄园研究氨碱法制纯碱的工艺方法时（边码 243），发现混在吹洗某些容器用的二氧化碳中的少量一氧化碳侵蚀了镍阀。造成这种侵蚀的原因是生成了一种新的化合物——羰基镍，它是在某种温度范围

内形成的气体，在较高的温度下就会分解，并沉积出镍[15]。蒙德意识到，对于非常困难的镍的分离，这种反应是非常有价值的。随后，专利被提了出来，蒙德和他的助手兰格（Carl Langer）一起承担了这项研究工作。1892年，他们在亨利·威金公司（Henry Wiggin and Company）的工厂里安装了一套完整的实验设备。当时，这些工厂是伯明翰附近斯梅西克镍矿的熔炼厂。到1895年，羰基工艺中的大部分技术难点看来都已被解决了[16]，但是由于受开采权谈判的影响，耽误了好几年时间，直到1900年，才在加拿大进行开采和熔炼。在泰韦河流域的克莱达奇（Clydach）建造了一套应用羰基工艺的精炼设备，这一地区拥有优质的无烟煤，很适合生产煤气。1902年，这套设备正式投产。

89

在原来的工艺中，先将加拿大熔炼商送来的冰铜进行煅烧，以便除掉残余的硫，然后再用硫酸淋洗以溶掉铜，不能溶解的载镍残余物则全部送到蒙德羰基设备中（图33）。后来，以奥福德“顶底分层”工艺作为中间阶段，分离掉大量的铜。在蒙德的设备里，烧结块在球磨机中被磨成细粉，这些细矿粉经分类机筛选后送入旋风分离机，较粗的颗粒重新返回球磨机，然后在双层炉中再次对那些细矿粉进行煅烧，以除掉最后残留的微量硫。在双层炉上装有刮板，这些刮板沿上层台板将矿粉往外刮，沿下层台板往回刮，然后将煅烧过的矿粉传送到还原塔。还原塔为多炉床结构，由20个双层小室构成。矿粉在40英尺高的还原塔中被耙臂依次从每一个上层台板向下耙到下一层台板上。下层台板具有密闭的空间，热的烟道气体通过这里，使温度保持在400℃。矿粉被水气混合流中的氢还原，这种水气混合流中的气体是氢和一氧化碳的混合物，释放出来的一氧化碳供下一个挥发过程使用。在这个挥发过程中，被还原了的矿粉经过第二组挥发塔，遇到纯一氧化碳气流，一氧化碳就与镍起反应，生成气态的羰基镍。这种反应是放热反应，因而需要采取专门的措施，使塔内保持在50℃的最

90

适温度。

接着，羰基镍通过分解塔，塔内装填着保持 180℃温度的镍珠。纯镍沉积在这些小珠上，释放出来的一氧化碳则重新返回到挥发塔中。为了防止这些小珠互相粘到一起，分解塔内安装有升降机构，使萃取柱总是处于运动状态。随着镍珠的增大，总体积也增大，一些镍珠便溢出来，通过溢出道落入设在塔底部的收集箱内。用这种方法制成的镍，纯度高达 99.95%。羰基工艺过程中的残余物，除了含铜和镍，还含有大约 4% 的钴，而且每吨含 30 盎司的贵金属。

虽然羰基工艺很快就在工业上得到应用，并且一直沿用到 20 世纪，但是电解工艺并没有被废弃，相当数量的镍一直靠这两种方法来生产。

4.7　铝

从 18 世纪起，化学家们就认为可能存在着一种新的金属——铝。但是，由于铝具有很强的氧化性，试图用化学还原法来制取铝的试验都失败了，奥斯特最先用加热无水氯化铝和钾汞齐的方法制得了不纯的铝粉。直到 1845 年，维勒（Friedrich Wöhler，1800—1882）才用氯化铝与钾蒸气进行反应制得针头状的铝球，并用它表明铝是一种重量轻而且延展性好的金属。另一位化学家圣克莱尔·德维尔（Henri Étienne Sainte-Claire Deville，1818—1881）在法国皇帝拿破仑三世（Napoleon Ⅲ）的赞助下，研究了好几种工业生产铝的可能方法。1854 年，他首先开发了氯化铝和钠这两种制铝用的原料的生产方法。他用木炭加热碳酸钠制得了钠，其成本降低到大约每盎司 5 先令。纯氧化铝由铝矾土矿石制得，这种铝矾土矿石最先在莱博德普罗旺斯发现，并在那里分布很广。铝矾土中含有 50%—65% 的氧化铝，把铝矾土碾碎后用烧碱浸渍，然后用水淋洗掉偏铝酸钠，过滤出溶液，并往溶液中吹入二氧化碳，即可淀析出纯氧化铝。在氯气流中用木炭煅烧氧

化铝，即可制得一种易挥发的固体——氯化铝。

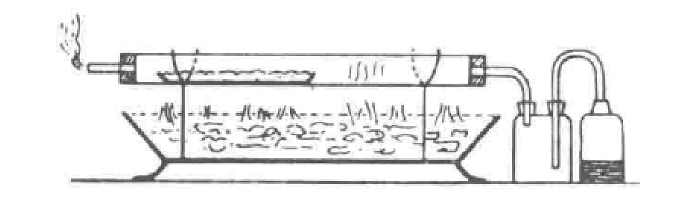


图 34　将氯化铝还原为铝的德维尔装置。

在巴黎附近的萨兰德尔（Salindres）玻璃厂中，圣克莱尔·德维尔的制铝方法实际上是实验室的方法是在一系列用木炭加热的钾玻璃管内完成的反应（图 34），将干燥的纯氢气通过盛有氯化铝的玻璃管，再让由此产生的蒸汽通过盛有液体钠的蒸发皿。在 1855 年至 1888 年期间，先是在萨兰德尔地区圣克莱尔·德维尔的工厂里，后来是在楠泰尔（Nanterre）地区的工厂里，用这种方法总共生产出了约 50 吨铝[17]。在此期间，铝的价格从每磅 12 英镑下降到了每磅 50 先令，平均纯度约为 97%。当时，铝只是用来制作装饰品和奢侈品，其中有按照拿破仑三世的命令制作的盔甲、国宴上使用的匙以及给他儿子玩的拨浪鼓。

其他几家工厂也采用了圣克莱尔·德维尔的工艺来生产铝，其中最著名的是韦伯斯特（James Fernley Webster）在 1877 年建立的铝花冠金属公司（Aluminium Crown Metal Company）。这家公司在伯明翰附近的奥尔德伯里靠近制钠车间的地方安装了一套制铝设备，每星期可生产多达 500 吨的铝。1886 年，由于卡斯特纳（Castner）制钠工艺（边码 248—249）的引进，这种工艺方法获得了很大发展。然而，由于发电机提供了充足的电能，电化学家很快便研究出用电解法来直接生产铝的更经济的工艺方法。这样，基于用钠来还原的所有制铝工艺很快就被淘汰了。

1886 年，美国的霍尔（Charles Martin Hall）和法国的埃鲁（Paul Louis Toussaint Héroult）同时各自独立地发现了直接电解制铝的工艺方法。他们都在 1863 年出生，并且都在 1914 年去世。从此以后，人们一直用电解法来生产金属铝（边码 249）。霍尔–埃鲁工艺的重要性取决于两个重要的实质性因素。第一个因素是它使用了电解液。

92

电解液由氧化铝熔化在熔融的冰晶石中形成。冰晶石是钠和铝的双氟化物，开始时在格陵兰岛开采而获得，后来则是用合成方法制取。在电解过程中，只有氧化铝被分解，价格比较昂贵的冰晶石则可保留下来继续使用。第二个因素是熔融的电解液的密度比铝小，因而在阴极上生成的铝会沉淀到电解槽的底部，这样就可使铝免受大气的氧化。

虽然圣克莱尔·德维尔已认识到在生产铝的过程中需要用化学方法提纯的矿石，但是他所用的工艺成本太高了，因为这种工艺必须大量稀释碳酸钠，并用石灰把碳酸钠重新转变成烧碱。幸运的是，在发明电解工艺后很短的一段时间内，拜耳（Karl Josef Bayer）提出了一种以简练而著名的新提纯方法。这种方法原封不动地沿用至今，没有人提出过可以与之相匹敌的改进。

93

在法国、意大利、南斯拉夫、希腊、英属圭亚那、牙买加和黄金海岸，都发现了重要的高品位铝矾土矿床。可开采的矿石必须含有50%以上的铝，而且为了降低提炼的成本，二氧化硅的含量必须很低。矿石经过破碎和洗选后，通常用船运到采用拜耳提纯法的冶炼工厂里，装入大型容器内用强烧碱溶液来溶解。随后的处理过程则取决于矿石的成分。如果矿石是一水化物，只需在165℃的高温下进行一次处理就足够了。但是，如果矿石是一水化物和三水化物，则第一步需用冷的烧碱来进行第一次处理，然后在168℃的高温和每平方英寸180磅的压强下进行第二次处理。反应完成以后，第一个容器中的物料被吹入第二个容器内，并恢复到大气压强，含有硅酸盐和氧化铁的杂质便沉降下来，用过滤的方法即可除掉很细的悬浮物质。接下来是很关键的一步，液体被抽到分解器中，用水略予稀释，并且将先前生产出来的氧化铝晶体作为籽晶，晶质的氧化铝水化物便慢慢离析出来，不过完成这一过程需要花费几天的时间。在完成沉淀过程以后，将液体装入多级式蒸发器中浓缩，以供重新使用，而氧化铝晶体经过洗涤

图 35　提纯氧化铝用的拜耳工艺流程图。

和干燥，在 1300℃的高温下煅烧，便可去掉所含的结晶水。图 35 给出了拜耳工艺流程图。用这种方法制取的氧化铝是白色的、粗糙的、可以自由流动的粉粒，非常易于加工，而且不含对还原过程有害的杂质。

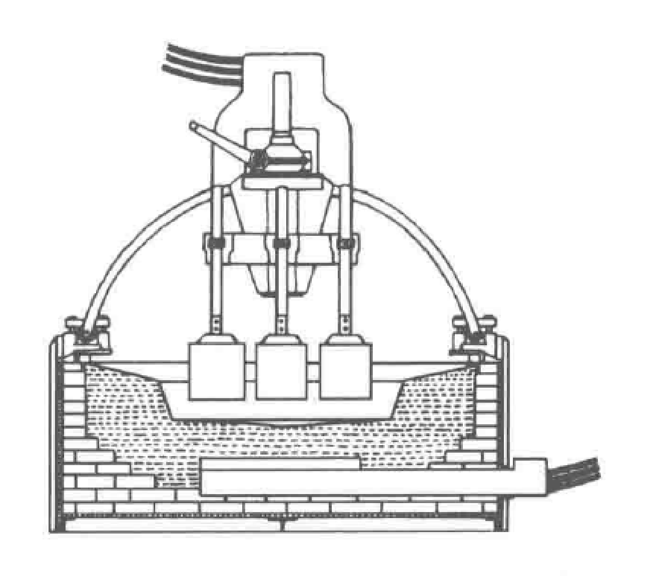


图 36　电解法生产铝用的 1.6 万安培的埃鲁电解槽。

1887 年，利用在著名的莱茵瀑布发出的电能，埃鲁电解槽首次在瑞士诺伊豪森地区的瑞士冶金公司投入工业生产[18]。不久，佩希内（Péchiney）在法国

的弗罗日地区建造了电解厂。1888年，匹兹堡冶炼公司（Pittsburgh Reduction Company）在美国第一次着手生产金属铝，英国铝业公司（British Aluminium Company）也于1896年开始生产金属铝。但是瑞士许多年来一直是制铝工业的主要生产者。图36给出了电解槽的结构形式，它从早期起一直基本保持不变。电解槽的基座由钢或铸铁铸造而成，内部装有用碳块构成的阴极。为了降低建造成本阴极碳块上衬有耐火砖。这种衬碳的电解槽内盛有由溶解在冰晶石中的氧化铝构成的电解液，温度保持在950℃左右。第一台电解槽的阳极是一块单个的碳块，它不停地旋转着，但后来发现它不必旋转。随后制成了大型电解槽，阳极由几个碳块组成，它们靠几根钢棒固定在槽顶横架的导电杆上。由于有电解液的保护，在电解槽的阴极处生成的铝不会被氧化。在阳极处产生的氧气，则烧掉了阳极上的碳。在熔融的电解液上面覆盖着一层铝矾土，这是有效的绝热层。当溶液中的铝矾土耗尽时，电阻就会突增，从而使电解槽的电压也突增，这种现象叫作阳极效应。当出现这种现象时，应该用撬杠把已经凝固成半固体状的铝矾土覆盖层弄碎，让它沉入电解液中。这时，应往电解液的表面倒上一层新鲜的铝矾土层，并把电解槽重新接入电路，周期性地把铝清除，或是用虹吸管吸出，或是将铝抽取到可移动的真空容器中，然后再送去浇注成型。

从理论上说，分解氧化铝需要2.1伏的电压，但在埃鲁电解槽中则用了5伏的电压，其总效率大约是36%，剩余的能量用来维持电解槽的温度，阳极砖的燃烧也起到了这样的作用。一组所谓的“电解槽系列”（pot-line），可由多达100个的电解槽用很粗的铝汇流条串联而成（图版6A）。在诺伊豪森安装的第一座电解槽所用的电流为4000安，到19世纪末期，电解槽所用的电流通常为8000安。生产一吨铝大约需要消耗1.8万—2万千瓦时的能量以及半吨左右的碳。因此，大多数炼铝厂都建在水力发电厂附近。

制造电极所使用的碳，起初是用磨细的焦炭粉与沥青混合后在高温下煅烧产生，后来则采用了由炼油厂的残余物制成的特殊焦炭，因为这种焦炭的灰分非常低。金属铝的纯度既取决于用拜耳工艺生产出的铝的提纯效率，又取决于纯碳阳极的使用。上述两种来源产生的杂质中都含有铁和硅，它们会进入铝中。但在工业上用电解法制得的铝中，这两种元素的含量都仅为0.25%，甚至更低。

4.8 金、银和铂

随着19世纪后期工业和商业的发展，对金和银的需求量也日益增长。两种金属被普遍用于货币，黄金更成为信贷和银行系统的实质性基础。这些信贷和银行系统承担了为海外的大型新项目筹措资金的责任，欧洲文明则是造成这种现象的主要原因。在此期间，由于电镀工艺的发明及其在便宜银器和珍宝饰物方面的应用，对银和金产生了新的需求，并迅速发展为很大的市场。

19世纪中叶，新发现的加利福尼亚金矿区开始用淘盘从含金量丰富的冲积土中淘选金子，而墨西哥和南美洲仍然采用帕托（Patio）的混汞工艺来炼金。当时，混汞炼金法是唯一用来大量处理散布于石英岩和二氧化硅沙砾中的低含量金矿砂的炼金工艺。这种方法从贫矿中提炼出的金不多于其含量的75%，但昂贵的汞被大量损耗掉了，因为汞具有很高的蒸气压。所以，采用这种工艺几乎不能获得利润。

虽然人们长期以来一直知道，在氧的作用下，金可以溶解于钠或钾的氰化物水溶液中，但是直到1887年，麦克阿瑟（J. S. MacArthur）、R. W. 福里斯特（R. W. Forrest）和W. 福里斯特（W. Forrest）才在一项专利中提出，使用浓度很低的氰化物溶液可以提取金。从此，氰化物开始应用于金的提炼[19]。开始用的是氰化钾，不过氰化钠在几年之后成了提取金和银的标准化学物品（边码

250）。虽然用混汞法提炼每吨平均含4盎司黄金的矿石时几乎不能获利，但用氰化物能有效地从每吨仅含5英钱左右金的矿石中提取金子。在发明了这种炼金工艺以后，虽然俄国仍然是重要的黄金生产国，但是西非和南非威特沃特斯兰德成了世界黄金的主要产地。

用氰化物提取黄金时，应先将矿石破碎并磨成粗糙的颗粒，然后与含有0.05%氰化钠的水溶液混合，同时加进足够的石灰以中和岩石中的天然酸。如果不中和掉这种天然酸，它就会使氰化物分解，挥发出一种危险的气体——氰化氢。湿的混合物经过球磨机和棒磨机研磨后，再用分类机来处理所得的泥浆，粗的颗粒则被送回重新进行研磨。接着吹入空气，使那些含有25%固体的微细悬浮物或矿泥与空气充分接触，直到所有的金溶解为止。下一步，用多尔浓缩机（边码76）或过滤器分离掉液体，在除掉了溶解在里面的氧以后，金便与锌片起反应，并从氰化物中释放出来，氰化物经回收后重新使用。接下来的熔炼使锌氧化，以得到纯度为85%—90%的金。

从罗马时代起，人们就对西班牙含铅和铜的矿石进行了提纯，以提高银的含量，但早期的银主要还是在铅的精炼过程中得到的，提取方法已在第Ⅳ卷中作了论述。许多铜矿石中都含有银和金，在熔炼铜和精炼铜的时候，这两种金属浓缩于铜中。19世纪初期，在熔化掺有铅的铜以便分离这两种液体的过程中，有时会出现金和银，此时银就转移到铅的组分里。1840年前后，德国开发出奥古斯丁（Augustin）工艺方法，并于1845年把它传到威尔士[1]。在这种工艺方法中，硫化物矿石与食盐一起焙烧，所得的氯化银则是用饱和的氯化钠溶液来提取的。不久，奥古斯丁法被齐福格尔（Ziervogel）法所取代，后者是用水来提取焙烧后的硫化物矿石中的银，待硫酸银与硫酸铜一起溶解后，银就随同残余的铜重新沉淀出来。金似乎是用普拉特纳（Plattner）法来提取的，这是用氯水对焙烧过的矿石

进行处理。1880 年，在斯旺西的维维安工厂中，平均每月从铜矿石中提炼出 3 万盎司的银和 300 盎司的金，同时还从含银的铅或铅矿石中每月提炼出大约 5 万盎司的银[20]。不久，银和金的化学分离法就被电解精炼法所取代。1869 年，这种电解精炼法被引入威尔士。在早年的威尔士精炼厂，每吨进行提炼的铜矿石可能含有 100 盎司以上的银和 2 盎司的金。到 19 世纪后期，在纽约的劳雷尔希尔则是用每吨含有 60 盎司银和 3 盎司金的铜来进行提取的。

然而，这样高的金、银含量并不常有。到了 20 世纪，电解精炼法变得比较普及了，通常见到的银含量为每吨 2—3 盎司，金的含量则不会超过几分之一盎司。镍的电解精炼过程（边码 88）也是贵金属的一种重要来源，但这时除了银和金，通常还含有可提取一定含量的金属铂。在镍的羰基提炼过程中，也可以得到贵金属的残渣。随着 20 世纪初期铜产量的迅速增长以及电解法的普遍采用，阳极矿泥成了贵金属的一个主要来源。

从矿泥中分离出贵金属通常采用化学湿法。简要地说，就是用王水（*aqua regia*）来处理这种矿泥，使铂和金溶解，银则留在残渣中，再往溶液里加入氯化铵，铂便以氯铂酸铵的形式从溶液中沉淀出来。

大约在 19 世纪末 20 世纪初，为了精炼银和金，电解法取代了老式的化学法。1863 年，瓦特（Charles Watt）首先发现了在氯化物溶液中对金进行电解的可能性。1874 年，奥尔维尔（Emil Wohlwill）首先用这种工艺精炼了金银锭。人们遇到的主要困难是氯化银会沉淀在阳极上，从而妨碍了金和银的溶解，克服的办法是在直流电流上叠加一个交流电流成分。银是在硝酸盐溶液中电解精炼的，主要杂质铜和金则保留在溶液里。为回收所有的金属成分（包括镍、钴、硒、碲和铂族金属）而进行的电解精炼，是一个很复杂的过程。

4.9 锰和铬的铝热生产法

到 19 世纪末期，人们开始认识到往铁中添加锰和铬等几种金属的价值。锰和铬等金属的盐分或氧化物早已应用于各种目的。起初，这些金属用既定的冶金方法炼制，主要是在高炉中用焦炭来还原以得到铁合金。

用这种方法来冶炼金属有许多缺点，通常需要相当高的温度，所以燃料消耗量很大。而且，由于像锰、铬和钛这样的金属本身就非常容易被氧化，因而很难正确地平衡燃料和空气，结果往往掺有大量的碳。铬和钛都形成了稳定的碳化物，这对炼钢来说是非常不利的。

早期的化学家们采用了钠和钾来还原金属氧化物中的金属。圣克莱尔・德维尔指出，细铝粉也可如此使用。19 世纪 90 年代，沃汀（C.Vautin）在应用铝粉来生产铁合金方面做了某些工作，并于 1898 年用这种方法生产出了钒铁。 对用铝粉来还原金属氧化物的所谓热还原作用，戈尔德施密特（Hans Goldschmidt，1861—1923）进行了详细的研究[21]。

20 世纪初，用铝热法来还原金属的工艺已在工业上得到了应用。在这种工艺方法中，提纯了的金属氧化物与细铝粉被充分地混合在一起，然后点燃这些混合物进行激烈的反应，结果生成氧化铝并释放出金属。在这种反应过程中，尽管用铝粉做燃料的成本比较高，但由于以下一些原因，这种工艺方法不论在技术上还是在经济上都是可取的：(1) 它能生产出不含主要杂质特别是不含碳的金属；(2) 这种工艺依赖于一种放热反应，所以很快就能达到所需的高温，而且只需消耗相对少量的铝燃料。然而，如果用焦炭或煤来进行外部加热以获得所需的高温条件，那就需要消耗大量的焦炭或煤。

这种工艺方法的成功应用取决于很多因素，包括金属颗粒的大小、铝中游离氧的比率以及炉料中各种氧化物的分解自由能。举例来说，如果在用铝来还原锰的反应中使用二氧化锰，那么这种反应几乎要达

到爆炸的程度。另一方面，氧化锰的还原反应不能提供完成反应所需的足够能量。因此，需要预先在还原气氛中焙烧二氧化锰，以得到锰的氧化物的混合物。在提炼铬的时候，三氧化二铬同样会产生过大的反应能量，而一氧化铬产生的反应能量却太小了，因而满意的解决办法是使用一氧化铬，同时用预热炉料的方法提供额外能量。在提炼其他金属时，用加入惰性粉末的方法来减慢反应速度，或是用加入硝酸钾或其他一些氧化剂的方法来提供额外热能，看来是很必要的。

为了成功地进行冶炼，还要求温度超过2200℃，以使氧化铝渣能够自如地流动，从而与金属完全分离开。反应开始时，应往铝粉和金属过氧化物的混合物中浸入一条镁带。一旦反应开始，它就很快地散布到主要的炉料中，并遍及全部炉料使之迅速熔化。在第一批炉料燃烧完以前，就应添加下一批混合物。最后，当反应停止时，液体产物就充满了坩埚，静置一段时间让金属和炉渣分离，即可倒掉上层的氧化铝液体，把下部的金属铸成锭块。

4.10 钨

钨是工业史上使用粉末冶金方法制造出的第一种重要金属，因而具有重要的历史意义。18世纪的人们就已经分离出了三氧化钨，并用木炭对它进行还原，提炼出了粗糙的钨粉。钨从1857年起成为工业上的重要金属，当时奥克斯兰德（Oxland）取得了一项炼制铁钨合金的专利。在用这种合金研制出的高速钢中，钨的含量高达20%，钨赋予高速钢以耐受高温时的强度（边码65）。

继1878年发明了碳丝电灯以后（边码214），人们就试图找到一种高熔点的金属元素，以便用它制作出更加耐用的灯丝。韦尔斯巴赫（Carl von Welsbach，1858—1929）用锇制成灯丝，但是由于这种金属太稀缺，没有引起人们足够的重视。20世纪初，在某种场合下，人们使用了熔点为2996℃的钽来制作灯丝。大约从1904年起，熔点为

99

3410℃的钨开始被用来制作灯丝，并从1911年起成了制作灯丝的专门材料。

人们用化学法从钨矿石中分离出钨并把它提纯。这里简述一下对一种主要的钨矿石——黑钨矿石（钨酸亚铁）的提炼方法。把矿石磨成细粉，用热的烧碱溶液来浸提，生成具有可溶性的钨酸钠。再把溶液稀释，沉淀出铁和锰盐以后，加入过氧化钠使硫化物氧化。溶液经过滤后，氧化物因酸化作用而重新沉淀出来，然后使其变成偏钨酸铵以进一步提纯。为了得到偏钨酸铵这种化合物，用氨水来浸提沉淀物，静置一段时间后，就能析出偏钨酸盐的结晶体。

经过重新溶解和重新沉淀以后，就可得到高纯度的偏钨酸盐。在精心控制的情况下，使偏钨酸盐与盐酸起反应，再一次把它转化成氧化物，氧化物颗粒的大小和形状对下一步的冶炼过程来说是至关重要的。在空气中加热以除去氨的方法，有时比用酸来脱氨要更优越些。把浓缩后的氧化物小心地放在氢气中加热以进行还原，在这个反应中，氧化物粉末被放在金属管炉中的耐火舟皿上，此时加热的速率对金属粉末的颗粒大小和固结性影响甚大。经过冷却后，把耐火舟皿从炉子中取出来，将钨粉弄碎后放到1/2英寸见方、6英寸长的浅钢模里，用大功率的水压机以大约每平方英寸20—30吨的压强挤压成钨棒。接下来的步骤是烧结钨棒，烧结的方法是把钨棒以垂直位置夹持在两个夹子之间，两个夹子构成大功率低压电流源的接线端，这样钨棒就靠它本身的电阻加热。加热过程在一个充满氢气的密闭炉内进行，夹子可以自由移动，以便在烧结过程中随着钨棒的明显收缩而移动。然后，把金属棒放在氢气中预热，用滚轧和型锻法进行热加工，只有在把它加工成直径为1/8英寸的棒条以后，才能把它冷拉成非常细的钨丝。

相关文献

[1] Grant-Francis, G. 'The Smelting of Copper in the Swansea District of South Wales from the Time of Elizabeth to the Present Day.' London. 1881.

[2] Gowland, W. Presidential Address. *Trans. Instn Min. Metall.*, **16**, 265, 1906–1907.

[3] Laist, F. *Trans. Amer. Inst. min. (metall.) Engrs*, **106**, 23, 1933.

[4] Gowland, W. "Metals and Metal Working in Old Japan" in Report of the 147th Annual Meeting of the Society of Antiquaries, London. 1915.

[5] Hollway, J. *J. R. Soc. Arts*, **27**, 248–63, 1879.

[6] British Patent No. 2838. 1865.

[7] British Patent No. 3120. 1869.

[8] Harloff, C. S. and Johnson, H. F. *Trans. Amer. Inst. min.(metall.) Engrs*, **106**, 398, 1933.

[9] Fitzpatrick, T. C. *Rep. Brit. Ass.*, 60th meeting, 120–30, 1890.

[10] Bttger, R. *Pharm. J.*, **3**, 358–9, 1843.

[11] Fleitmann, T. *Ber. dtsch. chem. Ges.*, **12**, 454–5, 1879.

[12] Sturney, A. C. 'The Story of Mond Nickel.' The Mond Nickel Company, London. 1951.

[13] Williams Foster and Company, Swansea. Private records.

[14] Riley, J. *J. Iron St. Inst.*, no. 1, 45–55, 1889.

[15] Mond, L., Langer, C. and Quincke, F. *J. chem. Soc.*, **57**, 749–53, 1890.

[16] Mond, L. *J. Soc. chem. Ind., Lond.*, **14**, 945–50, 1895.

[17] Sainte-Claire Deville, H. E. 'De l'aluminium, ses propriétées, sa fabrication et ses applications.' Paris 1859. (Eng. trans. by R. T. Anderson. Sherwood Press, Cleveland, Ohio. 1933.)

[18] 'Geschichte der Aluminium-Industrie-Aktien-Gesellschaft, Neuhausen, 1888–1938' (2 vols). Aluminium-Industrie-Aktien-Gesellschaft, Chippis. 1942, 1943.

[19] MacArthur, J. S. *J. Soc. chem. Ind., Lond.*, **24**, 311–15, 1905.

[20] Vivian and Sons, Swansea. Private records.

[21] Goldschmidt, H. and Vautin, C. *J. Soc. chem. Ind., Lond.*, **17**, 543–5, 1898.

参考书目

Aitchison, L. "A Hundred Years of Metallurgy, 1851–1951." *Sheet Metal Ind.*, **28**, 405–24, 519–26, 530, 1951.

Brown, N. and Turnbull, C. 'A Century of Copper' (2 vols). Wilson, London. 1899, 1900.

Clennell, J. E. 'The Cyanide. Handbook.' McGraw Hill, New York. 1910.

'Copper Metallurgy' (Rocky Mountain Fund Volume). *Trans. Amer. Inst. min. (metall.) Engrs*, **106**, 1933.

Levy, D. M. 'Modern Copper Smelting.' Griffin, London. 1912.

Louis, H. 'The Dressing of Minerals.' Arnold, London. 1909.

Morrison, W. M. "Aluminium and Highland Water Power." *J. Inst. Met.*, **65**, 17–36, 1939.

Percy, J. 'Metallurgy: Fuel; Fire-Clays; Copper; Zinc; Brass, etc.' London. 1861.

Idem. 'Metallurgy: Refractory Materials and Fuel.' London. 1875.

Idem. 'Metallurgy: Silver and Gold.' London. 1880.

Peters, E. D. 'Practice of Copper Smelting.' McGraw Hill, New York. 1911.

Roberts-Austen, Sir William Chandler. 'An Introduction to the Study of Metallurgy' (6th ed.). Griffin, London. 1910.

Rose, Sir Thomas Kirke and Newman, W. A. C. 'The Metallurgy of Gold' (7th ed.). Griffin, London. 1937.

101 Smithells, C. J. "Three Cantor Lectures on Aluminium." *J. R. Soc. Arts*, 98, 822–63, 1950.

Idem. 'Tungsten: a Treatise on its Metallurgy, Properties and Applications' (3rd ed.). Chapman & Hall, London. 1952.

Sturney, A. C. 'The Story of Mond Nickel.' The Mond Nickel Company, London. 1951.

'The Refining of Non-Ferrous Metals: a Symposium.' The Institution of Mining and Metallurgy, London. 1950.

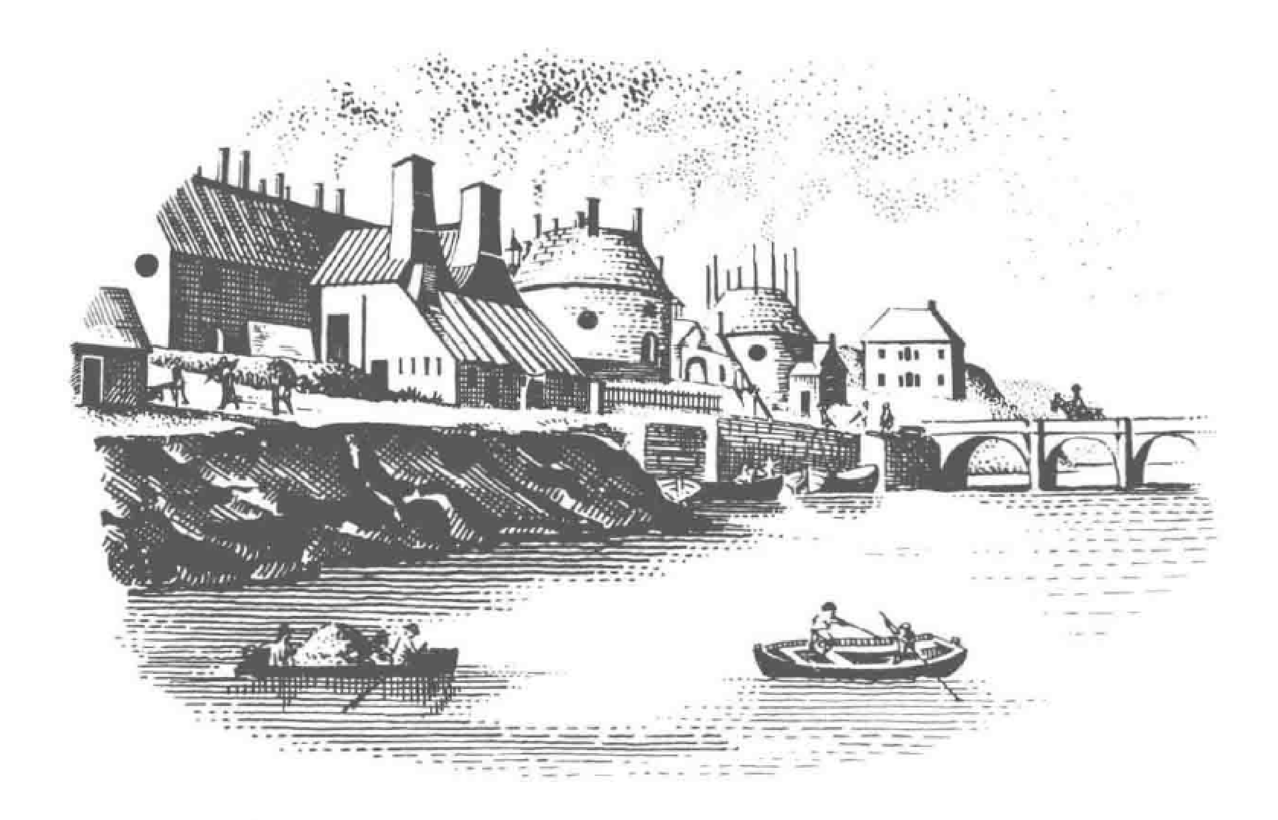
Wadhams, A. J. "The Story of the Nickel Industry." *Metals & Alloys*, 2, 166–75, 1931.

Wark, I. W. 'Principles of Flotation.' Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne. 1938.

West, E. G. "The First Century of Aluminium." *Bull. Instn Metall.*, 5, 5–14, March, 1955.

Zeerleder, A. von. 'Aluminium.' Akademische Verlag Gesellschaft, Leipzig. 1955.

Idem. "Attempts to Improve Aluminium Reduction Since Héroult and Hall." *J. Inst. Met.*, 83, 321–8, 1955.



斯旺西的奥尔德福里斯特 (Old Forest) 工厂，约 1800 年。

第5章　石　油

R. J. 福布斯（R. J. FORBES）

5.1　对矿物油的早期认识

102

古代美索不达米亚的沥青工业（第Ⅰ卷，边码250）为罗马帝国所不容。在罗马时代，人们对石油产品不怎么感兴趣，需求也很少。制药、堵船缝或涂果树干所需的沥青产品是在木焦油或木焦油树脂中找到的，而木焦油或木焦油树脂则是在燃烧木炭时可以大量得到的副产品。这并不意味着当时人们还不知道欧洲西部拥有各种油苗，也不是说人们还没有小规模地进行开采。16世纪印刷的技术文献表明，其中的一些油苗是很有名的，而且市场上已经出售了少量具有各种用途的产品[1]。我们从各种详细记载着石油的出色医药性质的印刷品中了解到[2]，早在1400年，人们就开始从意大利摩德纳附近的油苗中提取*来自石头的油*（*oglio de sasso*）或称“圣凯瑟琳油”（St Catharine oil），并与德国巴伐利亚的泰根塞地区的“圣奎里纳斯油”（St Quirinus oil）展开竞争，几年后，“圣奎里纳斯油”的日产量约为42升，这种油是从涌出的水中撇取的。在已知的石油产地中，还有法国阿尔萨斯地区的兰佩茨洛赫（Lampertsloch）（1498年）和德国汉诺威地区的维策。在一张描述1540年前后在摩德纳附近提取石油情况的插图中，我们可以看到石油是用像大烧瓶那样的标准瓶子来运输的（图37）。1576年，施尼策尔（Abraham Schnitzer）从政府当局那

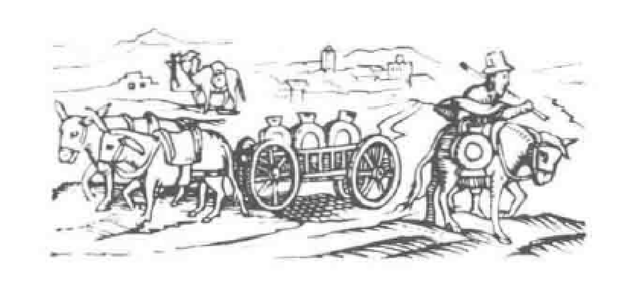


图 37　在摩德纳提取的石油被装在大瓶子里运输，约 1540 年。

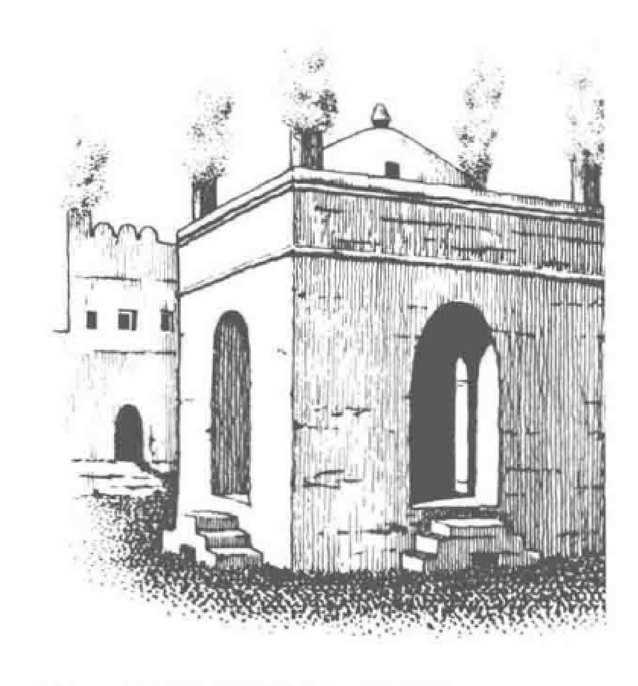


图 38　巴库的可燃烧气体，18 世纪。

里获得了在奥地利蒂罗尔地区的赛费尔德（Seefeld）开采页岩的许可。

勘探者开始带回有关欧洲以外地区油苗的报告。1526 年，奥维多（Oviedo）在报告哈瓦那普林西比港（Puerto Príncipe）的油苗时提到，从油苗中得到的所谓“卡林”（carine）这种东西常被用来堵塞被修理的船的缝隙。根据萨哈根（Sahagun）的报告，墨西哥坦皮科附近的油苗出产沥青，这种沥青为阿兹特克人提供了一种被称作茨克特利（*tzictli*）的胶姆糖。扎拉特（Zarate）报告了秘鲁的油苗（1555 年），地点靠近现在洛维托斯油田的海岸 。1595 年 3 月，雷利爵士（Sir Walter Ralegh）首次参观了特立尼达的铁拉德布雷亚（Tierra de Brea）沥青湖。1753 年，休斯（Hughes）在报告中首次提到了巴巴多斯的焦油。在亚洲，马可 · 波罗（Marco Polo）在 1272 年访问了巴库，并且在报告中提到了可燃的天然气（图 38）和附近的油苗。然而，关于巴库的翔实描述是由肯普弗（Kämpfer）提供的[3]。在 16 世纪和 17 世纪的游记中，我们可以看到其他一些在古代发现的位于美索不达米亚、波斯和阿富汗的油苗。

103

在《论冶金》（*De re metallica*）的第 12 册中，阿格里科拉（Agricola）描述了怎样从油苗中小心地提取原油，怎样在大罐中加热浓缩原油，以及怎样通过熔化（下行蒸馏法，*destillatio per descensum*）从沥青岩中

分离出沥青。在福尔克（Johann Volck）[4] 1625年写的一本小册子中，我们可以看到关于加工来自皮切尔布朗（Pechelbronn）的原油的更为详细的描述。福尔克是炼金术者图尔奈泽（Thurneisser zum Thurn）的徒弟，他细心地对这种原油进行蒸馏，研究分析了分馏物的性质，特别是它的药用性质，发现这种油适宜作为制造车轴润滑脂、木材和船体用的涂料和漆、皮革加工所用品、软膏、膏药以及灯油的一种基本材料。其他的书也告诉我们，从蒙特基亚罗和皮亚琴察附近的新油苗中提取出来的石油（1640年），以及从加利西亚人工挖掘的矿井中开采出来的石油（1649年），也是以同样的方式来使用，尽管这些书没有像福尔克那样详细叙述加工方法。在英格兰，伊尔（Eele）、波特洛克（Portlock）和汉考克（Hancock）于1694年取得了一项关于"从一种矿石中大量抽取和制造沥青、焦油和油类的方法"的专利（第Ⅲ卷，边码687—688）[5]。他们在什罗普郡塞汶河畔的皮奇福德（Pitchford-on-Severn）[1] 建造了一座工厂，用煮沸法从沥青质砂岩中提取沥青进行蒸馏，残渣可出售作为焦油的替代物用作船的填缝材料，轻馏分则作为药用"贝顿的英国油"（"Betton's British oil"）在市场上出售。

除了对油苗进行局部开采和对原油进行加工以制造油脂或药用产品，有关石油的情况在若干年里并没有发生什么变化。到19世纪初期，沥青开始应用于公路建设，岩石沥青和天然沥青的生产显示出迅速上升的趋势（第Ⅳ卷，边码539）。对石油或石油产品的迫切需要给石油工业带来了生命力，促进了19世纪近代石油工业的诞生。这是18世纪末期对优质廉价光源的需求所导致的，煤气工业的发展也由此开始（第Ⅳ卷，第9章）。1783年，光源发展的第一步是发明了扁平的编织灯芯[6]。后来，阿尔甘（Argand）发明了圆形燃油灯，用的是圆形的灯芯和圆筒形的灯罩。1836年，弗朗肖（Franchot）提出了"调节器灯"（moderator lamp）原理，即用一个弹簧给浮在油上的

104

1　该地名的第一部分 pitch（沥青）来自古英语 *pic*，这说明人们很早就已经知道那里存在着沥青。

浮子施加压力，迫使灯下半部的燃油上升到灯头中。其他的发明家在他们设计的灯中，也采用了阿尔甘和弗朗肖的原理。到1850年，市场上充满了大量采用这种原理制造的油灯，大大改善了室内和街道的照明条件。不过，这种新型灯的应用却因合适的燃油供应不足而受到限制。一般来说，菜籽油、鲸油、猪油、鲸蜡和松香油都是合适的燃油，但它们都受到了新出现的煤气照明的强烈冲击。因此，迫切需要制造出优质而又廉价的油灯燃料。

"煤之油"(coal oil)以及后来所称的煤油(kerosene)或石蜡油(paraffin oil)解决了这个问题。"煤之油"的开拓者是詹姆斯·扬(James Young，1811—1883)，这位优秀的科学家曾在皇家学院协助法拉第做试验，后来成为曼彻斯特一家化学工厂的经理[7]。1847年，他把注意力转到了德比郡里丁斯(Riddings)一座煤矿的一个石油"喷泉"上，这个"喷泉"日产300加仑原油。他与矿主们一起开始制造润滑油、用作溶剂的工业石脑油以及石蜡，但矿源不久就枯竭了。詹姆斯·扬错误地认为这些原油是邻近的煤层在地热的作用下形成的，并且申请了一项靠煤的干馏和精炼来生产"石蜡油"的专利(英国专利，1850年10月17日；美国专利，1852年3月23日)。1850年，他来到西洛锡安区的巴斯盖特，用附近发现的藻烛煤来生产石蜡油。直到1856年，这些石蜡油和固体石蜡才销售出去。接下来他们在1859年找到了相当大的市场，不过这些煤层不久也枯竭了。詹姆斯·扬立即开始开采大量存在于同一地区的油母页岩，由此成为苏格兰页岩油工业的奠基者。

与此同时，格斯纳(Abraham Gesner，1797—1864)从石油中制备出了第一批煤油[8]。1827年，他在伦敦取得了医生资格，后来却对地质学产生了兴趣。导致他从事灯油制造的原因是一件颇费猜测的事，或许是他在哈利法克斯逗留期间，与科克伦(Thomas Cochrane)交上了朋友。科克伦对特立尼达的天然沥青进行过大量的试验，并且在此

基础上申请了关于沥青产品应用方面的几项专利。为了使取得授权的专利发挥作用，格斯纳在1853年建立了沥青矿业和煤油煤气公司（Asphalt Mining and Kerosene Gas Company）[9]。在这些专利中，科克伦说明了如何处理由干馏沥青岩所得到的液体，以除去不希望有的杂质。他的方法是将液体与5%—10%容积百分比的硫酸充分混合，以便除去液体中存在的焦油，然后用约为2%容积的新煅烧的石灰来处理这种经过提纯的油，以吸收油中存在的水，并使酸性中和。经过这样的处理以后，再对这种油进行蒸馏。格斯纳把这种油叫作kerosene（煤油），它取自希腊语*keros*——石蜡[1]。

1854年，北美煤油煤气灯具公司（North American Kerosene Gas Light Company——后称纽约煤油公司，New York Kerosene Oil Company）——在牛顿湾（Newton Creek）建立了制造煤油的工厂。纽约的J. H. 奥斯汀（John H. Austen）和G. W. 奥斯汀（George W. Austen）掌握了经营销售权，同时供应一种便宜的配有玻璃灯罩的扁平灯芯煤油灯（所谓的维也纳灯）。到1856年，这种油已经如此闻名，以致格斯纳关于"煤油让……海中有鳍怪物（鲸）……休一个持久的长假成为可能"的预言似乎变成了现实。

大约在此时（1856—1857），巴斯盖特的詹姆斯·扬和南波士顿的小唐纳（Samuel Downer Jr）是格斯纳的主要竞争对手，他俩



图39　德雷克的油井，1866年。

1　这种轻烃的混合物在英国一般被叫作paraffin（oil）（石蜡油），但在美国仍然使用kerosene这种叫法。

首先把注意力放在用页岩或煤焦油一类的沥青质物质来制造润滑脂上。小唐纳手下的专家阿特伍德(Luther Atwood)通过实验证明，詹姆斯·扬的工厂精炼出来的石脑油是很好的照明用油。詹姆斯·扬受到了启发，开始在英国和美国出售“石蜡照明油”，并在1856年将一部分首批生产的油用船运到维也纳出售。1857年，小唐纳和他的美国化学品制造公司(United States Chemical Manufacturing Company)开始出售用黑沥青(一种沥青矿物)制造的灯用“煤之油”。到1859年他从中获取了高额利润。但是，当德雷克(E. L. Drake，1819—1880)开发的一座油井在1859年8月27日投入生产时(图39)，这些竞争着的灯油之间的战斗便马上得到了解决。

在北美发生这些进展的同时，欧洲的情况并没有保持静止19世纪初有机化学的兴起(第Ⅳ卷，第8章)，深刻地阐明了大量已知油苗中原油的成分和性质，与石油有关的焦油的许多结构秘密逐渐被揭示出来。19世纪头几十年中开发的新研究方法，则使得科学家们能够确定石油的化学性质。研究表明，石油是一种由属于链烷烃系列的多种烃类组成的混合物，同时还含有环烷和芳香族化合物，有时还有一些烯烃。参加这些研究工作的有索绪尔(Saussure)、杜马(Dumas)、布森戈(Boussingault)和李比希(von Liebig)[10]。

106

19世纪60年代，肖莱马(Schorlemmer)、珀卢兹(Pelouze)、卡乌尔(Cahours)和圣克莱尔·德维尔(Sainte-Claire Deville)等科学家把这方面的研究又推进了一步[11]。他们开始注意到石油加工的经济性，寻找并提出利用各类石油馏分的有效方法。此时，美国的研究工作者对这种科学知识的增长没有作出多少贡献，只是尽力去研究石油的实际加工方法。然而，一篇关于宾夕法尼亚石油的优秀科学报告为美国石油工业奠基，它促使美国人去钻探远离地表的含油层。

石油工业开拓者们采用的钻井方法并不是他们独创的。早在18世纪，这些方法就被应用于采矿、采石和土木工程的土壤试验。在旋转式钻井法中，一个类似螺钉的钻头旋压进土里，随着深度的加深再旋压进一些附加的钻杆，这种很古老的方法在中世纪时就已用来钻自流井。不过，在采石和采矿时，优先采用冲击钻孔法来钻凿装炸药的孔（第Ⅳ卷，边码64—72）。采用这些方法，可以钻约300英尺深的孔。但是，钻孔的成本很高，主要的动力源是牲畜或人（图40），加上当时的钢仍然很贵，使用的是锻铁钻杆，然而结果表明这种钻杆太易折断了。在这样的情况下，由法国传教士从中国带回的关于几个世纪以来中国人所使用的古老钻井法的报告引起了轰动[12]。

5.2 石油的钻探

107

早在1830年，人们就试过采用麻绳索缆的索缆钻井法。很快，这种钻井法被称作宾夕法尼亚法，不过由于缺乏合适的材料，拖延

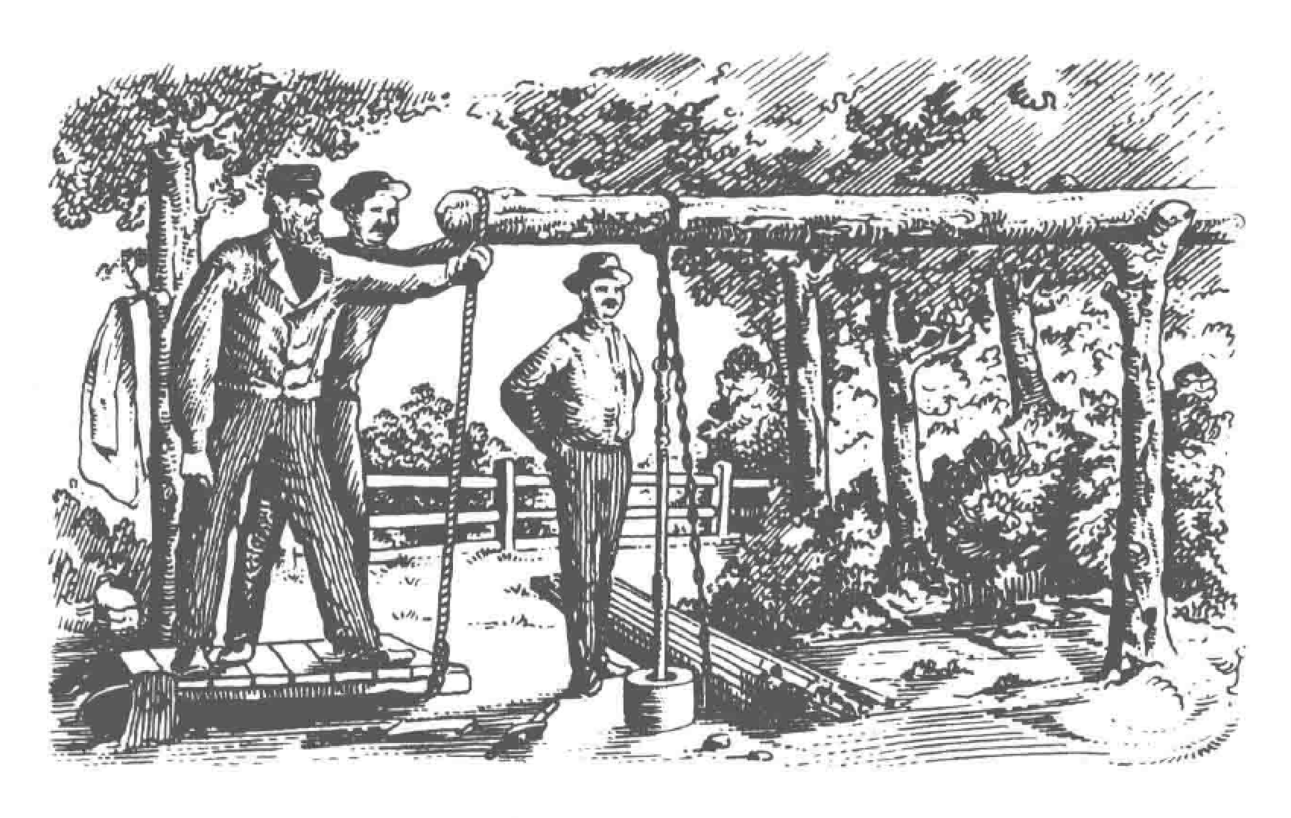


图40 用冲击式凿岩法“蹬出”一口井来。

了它的普遍应用。1846年7月，福韦勒（Fauvelle）在佩皮尼昂采用空心钻管钻掘了一口550英尺深的井。这项改进具有非常重要的意义，因为水通过这根钻管向下压到钻头，当水沿着管子上升时，便夹带着钻下来的东西，将它们从孔中排出来。后来，石油工业普遍采用了这种排水钻井法，福韦勒使用时获得了每小时3英尺的平均钻井速度。

冯·恩豪森（von Oehnhausen）发明的钻罐（1834年）和金德（Kind）发明的自由下落钻罐（1843年）防止了钻头在钻杆上的回跳，使冲击钻井法由此暂时得到了复苏。作为“日耳曼”钻井法或普鲁士法（*Système prussien*），这种钻井法取得了迅速的进展，但主要是在盐水井钻探方面。

把所有机械和动力机都集中在钻孔口的中心装置，可以追溯到1830年。这种钻塔的滑轮置于高处，钻管则可以提升到脱离钻孔，钻井器具和钻管可以竖着存放在钻塔中。早期时，所需动力依靠人和马来提供。大约到1850年，开始采用了蒸汽动力，最初使用的是移动式蒸汽机，此后则采用了固定式蒸汽机（图41）。

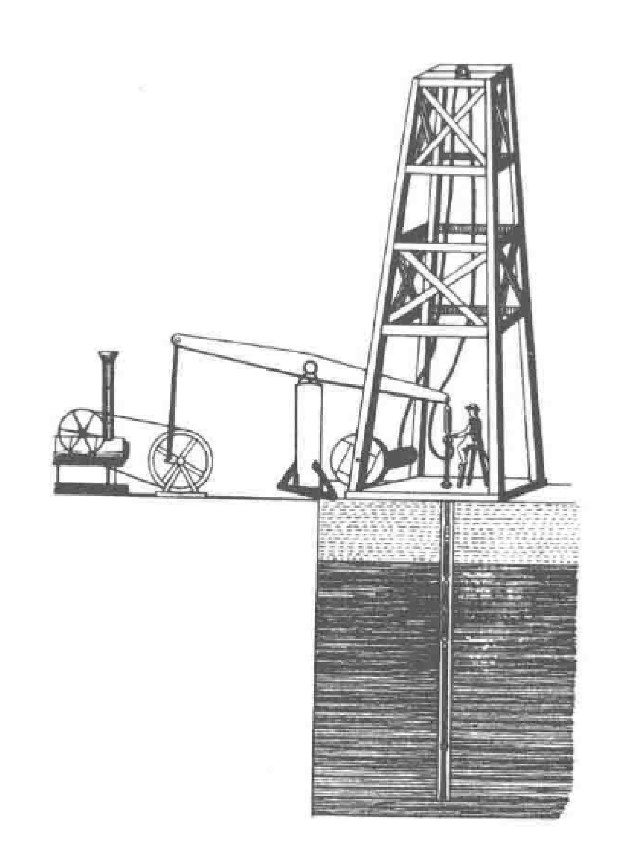


图41　早期的人们正用一种机械化了的冲击式凿岩法钻井。

19世纪60年代以后，市场上才有钻探深井和破碎坚硬结构用的可靠材料出售。1859年，德雷克仍然不得不靠装有钢刃的锻铁钻头来进行钻井。只有当贝塞麦和西门子能够大量生产出铸钢时，才逐渐得到了一

些有效的材料（第3章）。幸运的是，一直到19世纪末期，对石油产品的需求还没有达到迫切要求钻掘深井的程度。

直到德雷克那个时代，一种能钻透坚硬结构的新方法——金刚石钻井法——才被开发出来，并在石油工业中确立了自己的地位。这种方法由莱肖（Rudolf Leschot）在1864年发明，1867年在巴黎万国博览会进行展览时，给一位来自美国的参观者留下了很深的印象，并提请美国专家予以关注。1870年，纽约的塞弗伦斯（Severance）和霍尔特（Holt）的公司开始出售这种装置，这项发明便从美国传到了英国和瑞典。1872年，英国把一套样机卖给了德国，德国的国家采矿工程师克布利希（Köbrich）对它进行了很大的改进，把它应用于盐、煤和其他材料的钻探。1886年，施拉德巴赫（Schladebach）钻井法达到了5735英尺的深度，后来的纪录是6570英尺（1893年）和7230英尺（1909年）。直到1924年前后，这个纪录才被石油工业的钻井打破。

19世纪初期，由于对水和盐水的需求不断增加，开发出来的钻井方法并非专门用于采石和采矿。在法国，人们在农业上发展自流井，但中欧特别是德国的情况则大不相同，那里的人们把注意力集中在岩盐的生产和其他含盐地层的开采。这一方面是为了满足普通食盐和日益发展的化学工业在原料方面的需求；另一方面是为了找水，许多德国矿泉都是在钻探时发现的。

美国石油工业的开端 美国和欧洲一样，长期以来一直在寻找盐和水。早在1841年，随着盐的钻探业的不断发展，在俄亥俄州达克里克附近475英尺深处钻到了石油。据古德里奇（Goodrich）的记载，在1840年至1860年期间，至少有15口盐井在钻探时钻到了石油[13]。这种盐与石油一起频繁出现的情况，最终导致人们专为勘探石油而钻井。

在阿勒格尼河畔的塔伦特姆，匹兹堡的基尔（Samuel M. Kier）有

一口400英尺深的盐井，但是“终因盐水中渗入了油，作为一名制盐商的他破产了”。需要是发明之母，基尔开始从盐水中提炼油，并把这种被称为“基尔的石油或岩石之油（Rock Oil）”的油装在小瓶里出售，“它是一种天然药物，因具有奇妙的疗效而闻名”。

这种石油的瓶子标签上有着基尔盐水井钻塔的图片，这给实业家比斯尔（George H. Bissell，1821—1884）留下了很深的印象，从中领悟到了生产石油的一种新的可能性。1854年，世界上最老的石油公司——宾夕法尼亚岩油公司（Pennsylvania Rock Oil Company，建于1854年12月30日）的发起人和奠基人比斯尔和埃尔弗里思（Jonathan G. Elvereth），将产自宾夕法尼亚州泰特斯维尔附近希巴德农场（Hibbard Farm）的油苗的原油样品送给了耶鲁大学普通化学和应用化学教授小西利曼（Benjamin Silliman Jr）。1855年4月16日，小西利曼完成了他的报告[14]，现在，这篇报告已经成为石油方面的历史文献之一。

在这篇报告中，小西利曼首先叙述了原油以及通过蒸馏制得的各种馏分的一般性质。他测定了每种馏分的沸点范围和比重，在这样早的年代就指出了石油在加热时会形成新的产物的可能性——这种产物不是原来就存在于石油中的。他研究了用各类酸和脱色土对石油进行处理前后石油在低温下的“变稠或流动性”，用激烈加热馏分的方法制得了可用于照明的气体，用过热加热重馏分的方法——现在我们所说的裂化蒸馏法——得到迅速变黑的轻质馏分，还分离出非常适用于制作蜡烛的石蜡。这种轻质馏分或石脑油，是一种优质的灯油。小西利曼在各种灯中点燃这种油，并且仔细地测定了它所产生的烛光值。他注意到当时用来照明的鲸油和菜籽油的价格太高。他还指出某些石油的馏分可能是有用的润滑油，因为“它们不会形成树脂，不会腐败变质，也不会形成酸”。小西利曼显然还不知道，与他同时代的欧洲人已从原油中制造出了润滑油。

对原油中各种成分在技术上和经济上具备可行性的第一次概述是以下面这段话结束的：

总之，先生们，我有把握地认为，贵公司已经拥有了一种可以用简单而又廉价的处理方法来制造一些非常有价值的产品的原料。值得指出的是，我的实验证明，几乎全部原料都可利用，没有废料，只要采用一种经过精心安排的加工方法就能做到这一点，实际上这是所有化学加工方法中最简单的一种方法。

110

根据这个报告，比斯尔开始钻探石油。1859年8月27日，承包商德雷克在宾夕法尼亚州的石油溪（Oil Creek）附近离地面69.5英尺深处发现了石油。人们一般把这个日子看成是近代石油工业开始的标志，尽管事实上早在两年前（1857年4月—1859年5月）的汉诺威维策地区，胡瑙斯（G. C. Hunäus）就在专为生产原油而钻掘的5口井中开采出了天然气和石油。对于用烟煤、天然沥青、黑沥青和页岩来提炼煤之油和煤油的制造业来说，这一发展是一个致命的打击，原油为灯油的生产提供了更为经济的原料。从那时起，在这种看上去无穷无尽的地下矿藏基础上建立起来的石油工业，在美国发展起来。图版6B显示了1870年前后一个具有美国特色的油田。不久以后，这一工业在世界其他地方发展起来。在这里，我们不去论述石油工业的经济和政治命运[15]。

德雷克的成功激励了钻探方法的发展。由古老的钻井法演变成的宾夕法尼亚钻井法，后来被改进为加利福尼亚钻井法。在加拿大安大略省的彼得罗利亚专为钻探石油而设计的加拿大钻井法被开发出来。不久以后，美国石油工业的进步也给欧洲带来了影响，欧洲和美国的钻探方法在加利西亚共存，两种方法的互相比较和交流对双方都是有益的。

加利西亚的石油工业　在加利西亚，用手工挖掘的竖井生产了几

十年石油以后，大约在1862年首次引入了冲击钻井法。1867年，加利西亚对宾夕法尼亚钻井法进行了试验，但是由于这里的含油层结构特殊，具有陡峭的坡度和差别很大的硬度，这些实验都没有成功。1882年，贝格海姆－麦加维公司（Bergheim & MacGarvey）在加拿大的商号引入了加拿大钻井法，结果非常成功，取代了长期使用的旧方法。此外，德国也采用了这种方法。

这些比较新式的方法从加利西亚传播到了罗马尼亚。大约在1882年，罗马尼亚引入了加拿大钻井法，一年后又引入了宾夕法尼亚钻井法。1869年，第一批钻塔在巴库和格罗兹尼建立，但这些钻井法并不完全成功。1878年，美国钻井者枉费心机地在巴库引入了宾夕法尼亚钻井法。罗马尼亚人一直坚持采用有着非常笨重工具的自由落下钻井法，19世纪90年代开始受到快速旋转式冲压钻井法的竞争，直到20世纪初才最终被后者所取代。

111

但是，人们至此还没有看到手工挖掘的竖井的终结。1897年，德·尚布里耶（de Chambrier）在皮切尔布朗试用了一个竖井系统，它由一座深井和一组横向坑道组合而成，从而使矿层中的所有石油全部流入竖井的底部。这种系统是成功的，并在维策（1919年）和罗马尼亚的萨拉塔－蒙泰奥鲁（1923年）得到采用，但它最终不得不让位给钻井法。

在很长一段时期内，加利西亚是一个往其他国家的油田输送钻井工的国家，因为当时欧洲的石油生产主要依赖加利西亚、罗马尼亚和俄罗斯。加利西亚的一位名叫福克（A. Fauck）的钻井者，发明了几种重要的钻井机械和其他工具。另一位名叫拉基（Anton Raky，1868—1943）的钻井者是国际钻井公司（Internationale Bohrgesellschaft）的经理，在德国工作，并在1859年发明了高速钻吊（*Schnellbohrkran*），这是一种非常成功的快速钻井机械。

地质学的应用 早期的钻井者都是一些很实际的人（practical men），

只在地表油苗指示地下有油的地方钻井。但没过多久，这些油源就不足以满足对石油的大量需求，人们由此认识到必须靠科学家特别是地质学家的帮助，才能为勘探和深钻提供坚实的基础。

石油起源是一个有争议的问题，与寻找新的油源密切相关。大约在18世纪末期，一些合理的理论就开始被提出来了，其中最被普遍接受的理论认为石油起源于植物。到了19世纪，有机化学的发展导致了一些新理论的产生，它们暂时压倒了旧的理论。在贝特洛（Berthelot）关于高温下由乙炔生成各种烃类的研究工作的启发下，门捷列夫（D. I. Mendeleev）和勒·贝尔（J. A. Le Bel）认为，原油起源于地下深处水与金属碳化物的反应。研究油田结构的地质学家们则不接受这一理论，他们偏向于接受昆施泰特（Quenstedt）和亨特（Sterry Hunt）提出的动物起源理论。恩格勒（C. Engler）的实验似乎证实了这一理论，他把鱼油转化成了非常类似于宾夕法尼亚原油的产品[16]。石油起源的问题看来好像解决了，在长达几千个世纪的时期内，动物的尸体在压力和温度的影响下，与溶解在水中的盐发生反应而形成了原油。在里海和苏伊士湾进行的观察似乎证实了这一假设，但是在用钻头钻井揭示出地下的构造之前，它对发现新油田的价值并不大，油苗和手工挖掘的浅竖井不可能提供足够的资料数据。

112

欧洲和北美的地质学报告支持的观点认为，原油一般是在褶皱地层的孔中发现的，这种多孔褶皱地层被非多孔地层包围，后者阻止了所形成的气体和石油的逸散。“背斜理论”（anticlinal theory）建立在印度地质勘测之父托马斯·扬（Thomas Young）的观察基础上，这位科学家于1855年在缅甸的地层中观察到了石油蓄积和背斜结构共存的现象。在1861年及此后的几年里，安德鲁斯（E. B. Andrews）和亨特各自独立地为美国油田提出了类似理论。1885年，怀特（J. C. White）在公开发表的一篇文章中，对这一题目进行了第

一次理论探讨[17]。结果表明，他的理论对正确选择能够进行有效钻井的地点很有帮助。

5.3 石油的精炼

当时，世界各国都在不断地发现石油，石油的产量日益增加。开发精炼石油的新方法已势在必行，因为人们不久便认识到，从一处油田到另一处油田的原油成分变化很大，甚至还随开采石油的地层深度的不同而不同。然而，市场要求灯油、燃料油和润滑油的成分和品质只能存在很小的差别。

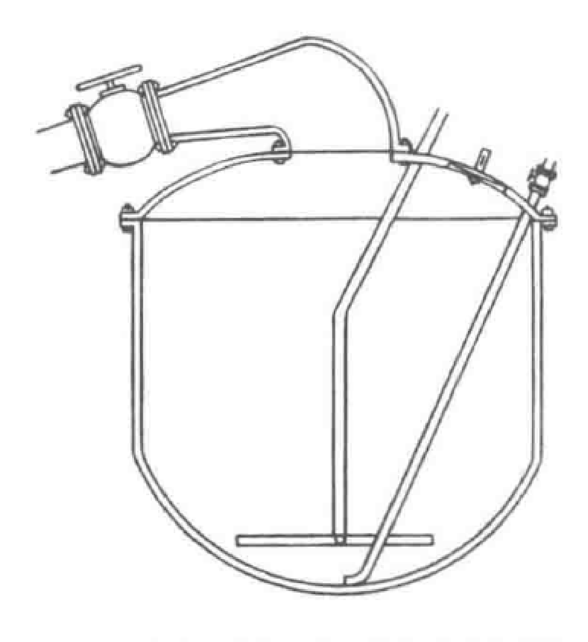


图 42 早期用蒸汽加热的原油蒸馏釜的剖面 1861 年。这种类型的蒸馏釜的最大直径约为 8 英尺。

原油的精炼基于两种相关的技术，根据原油的类型和成分以各种组合方式来加以应用。这两种技术就是蒸馏精炼法和化学精炼法直到 1890 年以后，裂化法才加入进来。

蒸馏实质上是一种根据沸点的不同而进行的热分馏方法。对蒸馏器的开发而言，18 世纪后半叶和 19 世纪初期发展起来的热学理论极其重要。在此期间，优质蒸馏装置的发展仍然与酒精生产密切相关[18]。1813 年，布卢门撒尔（Cellier Blumenthal）发明了第一套可靠的精馏塔。由萨瓦勒（Savalle，1857 年）发明的水蒸气调节器使得过热蒸汽被用作热源成为可能（图 42）。真空蒸馏这一古老的想法得以复活，而且效果很好。用葡萄酒或土豆泥来大量生产酒精时所使用的蒸馏塔、冷凝器和其他装置（边码 304），也被应用于焦油工业并且得到了改进。在精炼者从实践中认识到应该如何设计更适用于精炼石

113

油产品的专用精馏塔之前，这些装置一直未加改造地被石油工业所应用。早期的蒸馏釜（图 43）并不是建立在精确的科学数据基础上的，在这一领域中最早进行化学工程方面尝试的是豪斯布兰德（Hausbrand）和索雷尔（Sorel）[19]。

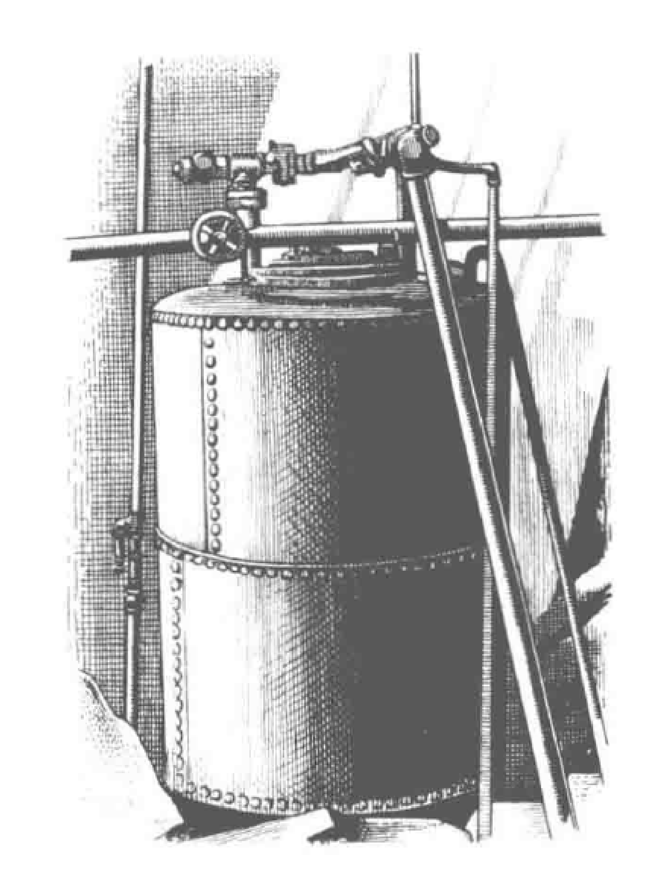


图 43　19 世纪 50 年代使用的具有五桶容积的蒸馏釜。

1855 年，基尔制造了他的第一个 800 升蒸馏釜。那时，美国的蒸馏装置几乎没有超越药用阶段。精炼者一般都满足于使用卧式圆筒形蒸馏釜（或者甚至是箱形的“干酪箱”蒸馏釜），这种蒸馏釜能像蒸馏酒精那样蒸馏出各种成分。但是，在重新注入原油进行下一次蒸馏以前，必须以一定间隔排掉热残渣并使蒸馏釜冷却（图 44）。这种间歇生产过程没有注意到热耗的经济性。因为它的唯一目的是获得中间馏分——煤油，所以没有使用分馏塔。现在被称为汽油的初馏物，在当时被认为是无用的甚至是危险的产物，高沸点残渣则通常作为燃料出售，很少再对它进行分馏以生产润滑油。在一段时间里，美国精炼商一直在浪费地蒸馏石油。1877 年，范·西克尔（Samuel Van Sickle）在泰特斯维尔试图引入一组连续的蒸馏釜，结果没有成功。

在欧洲，大规模的蒸馏技术具有相当长的历史。由于昂贵，燃料的使用成分头等要事。作为武尔茨（Wurtz）的助手，后来当了 22 年皮切尔布朗精炼厂经理的勒·贝尔研究了这个问题。当蒸馏技术知识从法国和中欧传播到加利西亚、罗马尼亚和俄罗斯时，人们发现间歇

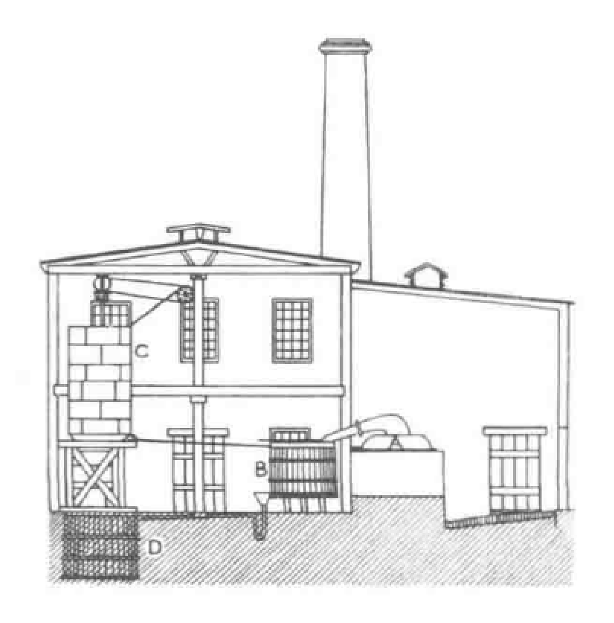


图 44　精炼原油或煤焦油的工厂，约 1860 年。(A) 蒸馏釜；(B) 蛇管箱；(C) 洗涤器或搅拌器；(D) 储油器。

蒸馏的成本太高了，开始寻找经济的方法。

早在 1871 年，加利西亚的精炼商们就采用了具有两个蒸馏釜的装置。一个蒸馏釜放在另一个蒸馏釜的顶部，上面的蒸馏釜呈水平锅炉式，用来蒸馏出轻质馏分，残渣便流到下面的蒸馏釜中，在那里除去重质馏分。珀卢兹（Pelouze）在原料连续流动方面取得了成功，从而使连续蒸馏过程能够持续 3—4 天。连续蒸馏这样一段时间以后，必须停止蒸馏以便排放下部容器中的残渣。

1875 年，富斯特（Fuhst）建造了一组串联的蒸馏釜，意图是想取消馏出物的精馏过程。一种由浮子和溢流管组成的巧妙装置，能使每个蒸馏釜中的残渣流入下一个蒸馏釜中。为了尽可能经济地利用冷却水，冷凝器也采取串联安装。在当时，初馏物是粗制的，必须在科菲（Coffey）蒸馏器（边码 306）或卢戈（Lugo）蒸馏塔（1867 年）中重新进行蒸馏，以制得沸点范围相当窄的馏分。在俄罗斯，使用了由格林斯基（Glinsky）实验室蒸馏塔和赫克曼（Heckmann）的蒸馏塔改造而成的蒸馏塔。在珀卢兹和奥杜因（Auduin）发表了他们的技术说明以后，根据格林布尔（Grimble）原理制造的管式冷凝器便普遍应用于石油工业（1873 年）。

虽然连续式或称分段式的蒸馏方法有很大的优点，但要想应用它还存在着许多障碍。1873 年，当托里索夫（Tawrisow）想要在巴库采用这种蒸馏方法时，他不得不把他的分段式蒸馏釜重新排列成间歇式，因为海关官员认为分段式蒸馏釜有利于偷税。然而，这并不能阻止分

段式蒸馏方法的发展。1880—1881 年，诺贝尔（Nobel）建造了由 17 个蒸馏釜组成的分段式蒸馏装置并获得了专利。结果证明，分段式蒸馏方法是有价值的，俄罗斯和罗马尼亚的科学家们还对它进行了改进。这种方法从东欧传到了远东，尽管在许多年中，在远东工作的美国专家不赞成采用这种方法。

一些小发明对更加有效地精炼石油也起到了作用。1880 年的一项石油蒸馏专利（法国专利，第 395108 号），发明了利用从最后的蒸馏釜中排出的残渣来预热输入的原油的方法，尽管这一原理早已被应用于酒精工业。在科尔马附近洛根巴克（Logenbach）地区他自己的小型精炼厂中，伊恩（Gustave-Adolphe Hirn，1815—1890）使用过热蒸汽来蒸馏高沸点的成分。1855 年，他改进了由斯特拉斯堡的贝克尔（Becker）在 1827 年发明的蒸汽过热器，并且应用了萨瓦勒（Savalle）的蒸汽调节器。这种方法是将干燥的热蒸汽吹进蒸馏釜，防止釜中原料过热。它被珀卢兹引入德国和加利西亚，后来又从那里传到了俄罗斯。

真空蒸馏的想法从糖的精炼方法中引出。大约在 1855 年，瓦格曼（P. Wagemann）在波恩附近他自己的奥古斯腾冶炼厂（Augustenhütte）的精炼厂中采用了这种方法[20]。这种方法也慢慢地被推广用来蒸馏有价值的高沸点润滑油。大约在 1879 年，美国独立地进行了最初的高真空蒸馏试验。由此可见，当时的同行之间非常严守技术秘密。

大学与精炼厂之间的紧密联合只存在于欧洲，而且主要是在俄罗斯。为了促进高加索石油工业的发展，维特（Count Witte，1849—1915）请大学教授来指导他们的有机化学研究工作，这种合作导致了蒸馏方法以及精炼技术和精炼装置的显著进步。对于 19 世纪末 20 世纪初的欧洲精炼商来说，拉古辛（Ragosin）[21]、伊帕梯夫（Ipatieff）、格雷维彻（Gurevitch）、斯蒂帕诺夫（Stepanoff）和彻切夫斯

基（Chercheffsky）的手册比恩格勒和赫弗（Höfer）以及他们这一学派的著作更为重要。诚然，早在这些著作问世以前，美国的精炼商们就已出版了有关精炼技术的实用手册，最早的一本是盖尔（Thomas Gale）的小册子[23]，很快又出版了格斯纳和安提塞尔（Antisell）的论文。然而，人们认识到石油的发展与科学研究密切相关的这一点却经历了很长时间，直到第一次世界大战时期，美国才开始认真地进行科学研究。

在一些比较古老的工业中，也采用了石油工业所用的化学精炼法。19 世纪初期，大量的硫酸就已经商品化了，并被用来制造肥皂和油脂。大约在 1850 年，伊恩受此启发在洛根巴克地区用硫酸来精炼石油制品，然后用水和苛性钠洗去石油中的残酸[25]。1864 年人们开始用热的浓硫酸来精炼润滑油。莫尔登豪尔（Moldenhauer）是李比希以前的助手，他把硫酸精炼法从中欧带到了巴库。在那里精炼商们发现添加 0.25% 左右的酒精，可以促进来自热油的酸焦油的聚合。在美国，起初是由盐酸来精炼石油的，但格斯纳（1854 年）和梅里尔（Joshua Merrill，1857 年）建议使用更为便宜的硫酸这种酸处理在器皿里靠机械搅拌器来进行，1870 年前后，布达佩斯的格梅林（Gmelin）引入了空气搅拌法，不但更为经济，而且气泡流能使酸和油更好地混合。

进行酸处理后，往往要用苛性钠或脱色土来做进一步的处理，甚至这种处理方法可以取代酸处理。1785 年，洛维茨（Theodor Lowitz）发现了木炭的脱色性质。1868 年前后，这种形式的炭已被广泛应用于精炼甘油，甚至用来精炼石蜡。1870 年，人们第一次使用了一种天然的佛罗里达黏土。用制造某些氰化物时得到的废水对这种黏土进行处理以后，这种黏土的脱色效果增强了。在经过化学处理以后，其他一些黏土也显示出类似的增强脱色能力效应。佛罗里达黏土的脱色作用，最早是在 1867 年被发现的。事实证明，这些黏土对石油工业

非常有价值。不久，法国和英国也开始进行这方面的试验。但是直到19世纪末期，才发现了其他一些有用的工艺方法。

一直到1900年，石油工业都主要用这些简单的方法来生产石蜡油。在欧洲，许多精炼商都已超过了格斯纳。1816年，赫克（Joseph Hecker）从波兰的特鲁斯卡维茨（Truskawiec）的原油中蒸馏出了灯油，这种灯油在1817年被用来给布拉格的几条街道照明，只是并没有持续很久。1853年，卢卡西维茨（Luksiewicz）采用了从加利西亚原油中制备的灯油，取得了更好的效果，用来给勒武韦（Lwow）的医院照明。1856—1857年，罗马尼亚用手工挖掘的油井每年生产275吨左右的原油。从1857年4月1日起，布加勒斯特城开始用油灯照明。虽然还有其他一些应用灯油的例子，但是这种灯油的产量很有限，因为生产这种灯油的原油不是来自机钻油井，所以供应很不稳定。在这方面，美国的灯油生产则处于大为领先的地位。在德雷克取得成功之后，灯油的生产又得到了巨大的发展。这种油被装在用木箱包装的铁桶里，用船运到加利福尼亚，甚至还通过合恩角运到澳大利亚。到1860年前后，进口的美国煤油开始对欧洲市场产生显著影响，这要部分地归因于在德·基泽（Joseph de Keyzer）的倡议下，1859年的根特国际花卉展览会上展出了煤油灯。

5.4 矿物油的用途

加热 除了用来照明，煤油在当时厨房里的重要性也变得明显了。但是，直到1878年举办了巴黎万国博览会，贝斯纳德（Besnard）和马里斯（Maris）才展出了近代煤油炉的样机，后者早已因研制成一种物美价廉的煤油灯而著名。展览的结果是惊人的，这样的炉子在此后10年内一共售出了超过50万只，尽管有些国家采取了限制措施，但他们不久便领悟到煤油是一种极好的税收来源。

由于没有很强的竞争，煤油的销售没有什么进展，煤气在照明和

117 烹调方面的应用则得到了飞速的扩张（第Ⅳ卷，第9章）。作为近代煤气制造和分析之父，邦特（Bunte）以他的才能开辟了煤气在家庭中的新用途，并且致力于把煤气推广应用到厨房中去。后来，在19世纪80年代，煤油出现了第二个竞争者——电，在拥有丰富的水利资源因而能够廉价地大量生产电的那些国家里更是如此。仅仅出售像煤油那样的原油的中间馏分已不再是经济的了，许多从事石油工业的人很快就确信，利用常常被当作蒸馏残渣的那些重质馏分作为燃料来与煤竞争是可能的。

将这种油作为燃料的早期应用是很简单的，只需倒在一个盘子里或是一块金属板上点燃，市场上出现了各种各样按这一基本概念设计的装置。随后，比德尔（Edward John Biddle）在1862年为一个燃烧器申请了一项美国专利，这种燃烧器由一块具有平行长凹槽的金属板组成。这些原始的燃烧器不能令人满意，因而俄国人施帕科夫斯基（Schpakofsky）[26]在1865年建议用压缩空气来喷射热油，点燃形成的油雾，这样就可以更好地调节和控制火焰。同年，英国人艾登（Aydon）与怀斯（Wise）、菲尔德（Field）一起提出了类似的想法，但他们是采用过热蒸汽来“雾化”（atomize）燃料的［“雾化”这一术语是美国海军蒸汽工程局局长伊舍伍德（Benjamin F. Isherwood）于1860年首先采用的］。

使原油的残渣成为加热蒸汽机车或轮船的锅炉以及精炼厂的蒸馏釜的燃料，显然是这种雾化工艺的重要意义。这一想法得到了实现。在巴库，伦兹（Ott Lenz）采用他自己设计的一台锅炉，用原油残渣来加热蒸馏釜和蒸汽机车锅炉。原来叫作重油燃料（残渣）的剩余物被重新命名为重油（燃料油），油燃烧器的下一步发展是燃料的机械化雾化。库克（Frederick Cook）的美国专利（1868年1月）似乎包含了按照这些思路设计的最初设想[27]，但是最早的这种类型的实用燃烧器应该归功于凯廷（Koerting）和舒特（Schutte，1902

年）[28]。

在此期间，燃料油已经找到了一种有前途的市场。1865年4月6日，《泰晤士报》刊登一篇文章列举燃料油相对于煤的优点，并且强调了用它作为船舶锅炉燃料的适用性。斯托弗（Stover）在技术杂志上扩展了这篇文章的内容，认为作者提出的观点在原理上是正确的，但指出他自己进行的试验表明把燃料油用作船舶的燃料在欧洲还是太昂贵，然而在美国的经济状况则全然不同。接着，燃料油在法国、英国和美国的船上进行了试用。大约在1903年，美国的潜水艇一般都使用了燃料油，英国皇家海军稍后也认识到了这种新燃料的优越性。经济形势的改变影响到了油与煤的相对成本，促进了油取代煤的变化。现在，90%的船舶是烧油的。

118

润滑 几个世纪以来，原油一直与油脂、动物脂和植物油一起被用作润滑剂，但只是小规模地使用。从18世纪末期起，润滑剂才开始被系统地应用。当时，工业革命导致了对高速和优质交通工具的需求。从此，人们把更多的注意力放到了交通工具的结构合理性方面，这意味着必须要认真地去研究摩擦力。库仑（Charles Augustin de Coulomb，1736—1806）进行了最初的系统实验[29]。一个世纪以来，几乎没有人对他的摩擦定律提出过异议，尽管后来发现他的摩擦系数定得太高了，竟高出6—60倍。莫林（Morin）在19世纪30年代提出过批评意见，但直到托尔（Beauchamp Tower）受机械工程师协会（Institution of Mechanical Engineers）的委托，在1879年进行了“研究高速条件下的摩擦，特别是与轴承和枢轴有关的高速摩擦以及制动器的摩擦等”的实验工作之后，人们才开始怀疑库仑的数据和一些理论。托尔的4篇报告（1883年、1885年、1888年和1891年）是在雷诺（Osborne Reynolds）的帮助下撰写的（边码547），他还参考了鲁尔曼（Rüllmann）的著作。雷诺为托尔的工作提供了理论基础和数学公式。可以说，这些出版物构成了近代润滑剂试验的基础[30]。

1831 年 6 月 29 日，多尔弗斯（Charles Dolfuss）在米卢斯工业学会（Société Industrielle de Mulhouse）发表演讲，并展示了一台试验润滑剂的仪器。它是底部开有一个小孔的容器，润滑剂能从这里漏出。通过测量一种体积已知的润滑剂流出容器所需的秒数，即可得到关于这种润滑剂“流动性”的指数。被多尔弗斯称为黏度计（*viscosimètre*）的这种仪器很有用，因为当时到处都在寻求用较好的润滑剂来代替价高而又不稳定的润滑剂的办法。

在詹姆斯·扬时期之前的几十年中，矿物润滑剂是在法国和中欧的一些小工厂里靠干馏油母页岩和沥青岩来制备的。1835 年，塞利格（Selligue）和海耶（de la Haye）开始从欧坦的页岩中蒸馏石油，以制取润滑剂。1839 年，在伊格尔奈、叙尔莫兰（Surmoulin）和科尔德斯（Cordesse）等地建立了一些公司。1843 年，在瓦尼亚（Vagnas）、弗雷瑞斯以及包括洛布塞恩（Lobsann）和特拉弗斯（Travers）在内的其他一些地方，已有了类似的工厂。

1845 年，勒·贝尔用在水中煮沸油沙的方法分离出了石油，并且发现它是一种优质的润滑剂。皮切尔布朗精炼厂的经理伊恩是勒·贝尔的继承者（边码 114），他继续进行勒·贝尔的研究工作。伊恩的研究目标是想用蒸馏的矿物油来代替当时普遍使用的植物油或脂肪油，润滑油的发现又迫使他去研究摩擦的原理。根据他的笔记，这项工作是从 1847 年开始的，他向科学院（Académie des Sciences）递交了一份供发表的相关研究报告。他的报告被拒绝了，秘书富尔内隆（Fourneyron）写道，这个结果“与众所周知的机械学原理——库仑定律相违背”。伊恩既没有停止他的实验，也没有放弃发表报告的努力。最后，他的著作终于印制成册[31]。我们已经论证过，伊恩早在 1853 年就在他的洛根巴克精炼厂用蒸馏矿物油的方法生产出了润滑剂。从那时起，润滑油一直是美国和欧洲每一个石油精炼厂的产品之一。除了重机械油，锭子油很早就在欧洲被

119

用作润滑剂。它是一种非常稀的润滑剂，用在纺织过程中，能使纤维在进入纺纱机之前变得柔韧。为此，矿物油代替了从藻煤或页岩中得到的产品。这些矿物油主要在法国制造，是用从美国进口的原油来精炼的。

汽油 在1880年或1890年，汽油应用的科学基础还几乎不存在。汽车（第18章）和飞机（第17章）刚处于实验阶段，只是模糊地展示了汽油会在遥远的将来具有广阔的市场。但是，用汽油的焊灯和压力窑炉已经出现了，有一种石脑油用于干洗和从种子中萃取油料，人们还想用汽油来富化煤气或给煤气增碳。为实现这一目的，人们按照博利（Bolley）的一项苏黎世专利[32]将汽油喷洒到加热的带衬砖的蒸馏器中，汽油就被汽化并与城市煤气混合起来。理查森（Richardson）和莫尔斯（Morse）设计了一些相当轻便的手提式装置，并在1864年前后引入法国。

从1828年起，英国开始制造水煤气，制造方法是将水蒸气吹过赤热的焦炭。按照汤普森（Thompson）和欣德（Hind）发明的一种工艺，汽油也可用来对这种水煤气进行增碳处理。然而，当时的人们已经意识到，可以寻找一些更加便宜且没有危险的石油制品来实现这样的目的，从介于煤油和润滑油之间的中间馏分中分离出来的粗柴油提供了一种解决办法。在赤热的反应器中，粗柴油能像汽油一样被裂化形成一些气体，并与城市煤气或工业煤气混合，以增强它们的效力[33]。但是，这种做法并没有大幅扩大汽油的市场。在美国，往往使用天然气来增碳。

1794年，在惠更斯（Huygens）于1680年进行的关于黑色火药发动机的研究工作的基础上（第Ⅳ卷，边码171），伦敦的斯特里特（Robert Street）取得了一项“靠焦油精和松节油精的爆炸来推动的一种发动机”的专利（英国专利第1981号）。此后，好几代人继续进行完善内燃机方面的研究工作，终于研制成了1877年的奥托（Otto）“无

120

声柴油机”和1893年的狄塞尔（Diesel）实验用柴油机（第8章）。到19世纪末期，虽然出现了几种有前途的燃烧汽油、煤油或柴油的发动机[24]，但燃料的成本和发动机本身的价格限制了它们的发展。一直到了20世纪的最初十年，才出现了能够经济地使用发动机的环境，这就使得石油工业能把原来没有价值的、极易燃烧的副产品变成了最贵重的财富。

由于汽油仍然没有广大市场，裂化还不是石油工业中一种必不可少的工艺。众所周知，裂化工艺是在油页岩和沥青岩的干馏过程中采用的，甚至还能以适中的规模在较古老的原始蒸馏釜中得到应用。在这种蒸馏釜中，有时为了蒸馏出更多的石蜡，应使石油过热，但一般不把它看作一种分离过程。但是，早在1886年，泰特斯维尔的本顿（Benton）就申请了第一项关于裂化的专利[35]。他建议在炉子内的管子中对残渣或重油进行过热，然后再在炉后的汽化室内使所得到的轻质组分汽化，炉内的油在20—35个大气压下被加热到370℃—540℃。这项建议提出后不久，便出现了皮尔斯蒂克（Carl M. Pielsticker）[36]的独创性专利管式蒸馏釜，让石油在压力下高速通过一根装在炉子内部的60米长的螺旋管。这样，轻质馏分便在汽化室中的压力条件下从没有裂化的重质馏分中分离出来，重质馏分则被重新引回蒸馏釜中。但是，裂化汽油在1890—1892年没有市场，来自原油的天然产品让精炼商们遇到了很多麻烦。因此，皮尔斯蒂克的专利没有被采用，并且后来被宣布为“纸上的专利”。

121

5.5 石油的运输

1890年以前，人们没有认真地考虑过如何去组织石油的运输。在创业时期，人们用木桶来运输石油（图45、图46）。后来，陆上运输使用了铁罐或薄铁桶。海上运输使用了与陆上运输类似的容器，但镀锡铁罐通常是以两个为一组包装在木箱里，作为普通货物装在甲板上。

图 45　在石油溪运输石油，1875 年。

最初一批横渡大西洋的船载石油是 1861 年用木桶装在“伊丽莎白 · 瓦茨号”（*Elizabeth Watts*）方帆双桅船的货舱里运输的。没过多久，人们便意识到将石油散装在船舱里是解决石油运输问题的唯一方法，因此在船舱内放置了一些大铁槽，后来则用带水泥衬里的木船来装运石油。

这样就导致了专用轮船的设计。1877 年，第一艘油轮“琐罗亚斯德号”（*Zoroaster*）被制

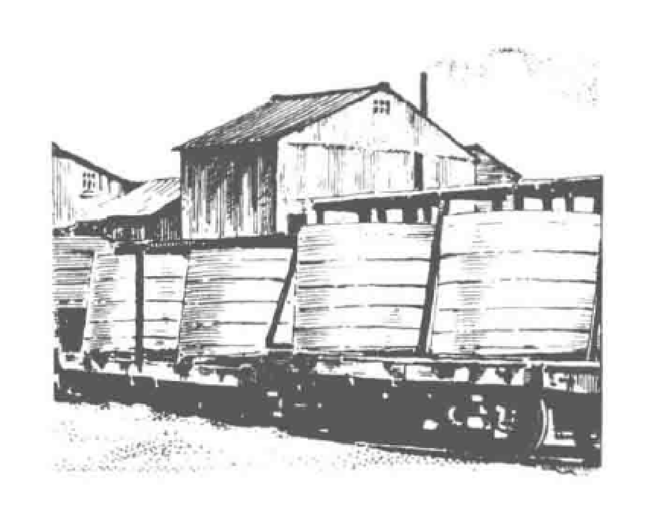


图 46　早期的轨道油罐车，每节车装有两个圆形大木桶，总容积约为 1700 加仑。

造出来，用于里海的贸易。泰恩河畔的阿姆斯特朗·惠特沃思公司(Armstrong Whitworth & Company)1855年制造的“幸运号”(*Glückauf*)油轮是欧洲的第一艘油轮，此后又陆续建造了许多同样型号的小油轮，它们将船舱分成许多小舱，以便同时运载几种油。此外，还设计了几种供内河运输用的特殊型号油船。到1890年，大约已有50—60艘油船投入了运行，它们悬挂着英国、美国或俄国的国旗。

大约在1881年，俄国首先采用了铁路运输用的专用罐车。但是，未来陆上的大量运油需要依靠输油管道。在使用木制输油管失败了几次后，到19世纪70年代，第一条输油管道随着钢管的出现建成了。19世纪初期用老式的铸铁管铺设的水道总管强度不太高，不足以承受必需的泵送的高压。在这方面，范·西克尔(Van Sickle)是美国的开拓者(1874年)，在俄国则是诺贝尔(1876年)。在美国，管道输送不久便成了洛克菲勒(Rockefeller)石油政策的一个重要组成部分。

由于其他行业研制出了贮存石油产品的装置，石油产品的贮存不存在什么困难。长期以来，薄铁板(此后是薄钢板)罐一直被用于焦油、煤气、酒精和化学制品工业。只有当天然石油中的轻质、低沸点碳氢化合物在压力下被还原并贮存时，才出现了为石油工业专门设计的新型油罐。

相关文献

[1] Forbes, R. J. "Bitumen and Petroleum in Antiquity" in 'Studies in Ancient Technology', Vol. 1. Brill, Leiden. 1955.
Idem. 'Studies in Early Petroleum History.' Brill, Leiden. 1957.

[2] *Idem. Ingenieur*, 's Grav., Special Number: III World Petroleum Congress, pp. 1–3. June, 1951.

[3] Kämpfer, E. *Amoenitates exoticae politico-physico medicarum.* Lemgo. 1712.
Meier-Lemgö, K. and Schmitz, P. M. E. *Bitumen, Berl.*, 9, 76–79, 1939.
Schmitz, P. M. E. *Matières grasses*, 30, 252–3, 1938.

[4] Volck, J. 'Hanawischen Erdbalsams, Petrolei oder weichen Agsteins Beschreibung.' Jozua Rihel, Strasbourg. 1625.

[5] British Patent No. 330. 1694.
Eele, M. *Phil. Trans.*, 19, 544, 1697.

[6] Bloch, W. 'Vom Kienspan bis zum künstlichen Tageslicht.' Dieck, Stuttgart. 1925.
Robins, F. W. 'The Story of the Lamp and the Candle.' Oxford University Press, London. 1939.

[7] Bailey, E. M. *Inst. Petrol. Rev.*, 2, 180–3, 216–21, 249–52, 1948.
Idem. Ibid., 2, 357–60, 1948.
Idem. 'The Oil-Shales of the Lothians' (3rd ed.), pp. 240–65. Memoirs of the Geological Survey, London. 1927.

[8] Beaton, K. *Business Hist. Rev.*, 29, 28–53, 1955.

[9] U. S. Patents Nos 11, 203, 11, 204, and 11, 205. 1854.

[10] Saussure, N. T. de. *Ann. Chim. (Phys.)*, 4, 314, 1817.
Dumas, J. B. A. *Liebigs Ann.*, 6, 257, 1833.
Boussingault, J. B. J. D. *Ann. Chim. (Phys.)*, 64, 141–51, 1837.

[11] Schorlemmer, C. *Liebigs Ann.*, 127, 311, 1863.
Pelouze, J. and Cahours, A. *Ann. Chim. (Phys.)*, fourth series, 1, 5, 1864.
Sainte-Claire Deville, H. E. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 66, 442, 1868.
Idem. Ibid., 68, 349, 485, 686, 1869.
Idem. Ibid., 69, 933, 1869.

[12] Imbert, P. *Dinglers J.*, 34, 72, 1828. Lotzky, J. *Ibid.*, 38, 109, 1830.

[13] Goodrich, H. B. *Econ. Geol.*, 27, 160–8, 1932.

[14] Silliman, B. (Jr). 'Report on the Rock Oil or Petroleum from Venango County, Pennsylvania, with Special Reference to its Use for Illumination and Other Purposes.' New Haven. 1855.

[15] Giddens, P. H. 'The Birth of the Oil Industry.' Macmillan, New York. 1938.
Idem. 'The Beginnings of the Petroleum Industry.' Pennsylvania Historical and Museum Commission, Harrisburg. 1941.
Idem. 'Pennsylvania Petroleum, 1750–1872.' Pennsylvania Historical and Museum Commission, Harrisburg. 1947.
Idem. 'Early Days of Oil, a Pictorial History of the Beginnings of the Industry in Pennsylvania.'
Princeton University Press, Princeton, N. J. 1948.
Tarbell, I. M. 'The History of the Standard Oil Company' (2 vols). McClure Phillips, New York, 1904.
Gerretson, F. C. 'History of the Royal Dutch' (4 vols). Brill, Leiden. 1957.

[16] Engler, C. and Höfer, H. 'Erdöl und seine Verwandten.' Brunswick. 1888.

[17] Swemmle, J. 'World Geography of Petroleum', p. 300. Princeton University Press, Princeton, N. J. 1950.
White, J. C. *Science*, 5, 521–2, 1885.

[18] Forbes, R. J. 'Short History of the Art of Distillation.' Brill, Leiden. 1948.
Idem. Trans. Newcomen Soc., 24, 105–12, 1947–1948.

[19] Hausbrand, E. 'Die Wirkungsweise der Rectificier-und Destillierapparate.' Berlin. 1893.

Sorel, E. 'La rectification de l'alcool.' Paris 1894.

Idem. 'La distillation.' Paris. 1895.

Idem. 'Distillation et rectfication industrielle.' Paris. 1899.

[20] Wagemann, P. *Dinglers J.*, 139, 42, 1855.

[21] Ragosin, J. V. 'Le naphte et l'industrie du naphte.' Paris. 1884.

Idem. 'Traité sur la distillation rationnelle des pétroles bruts.' Paris. 1889.

[22] Stepanoff. 'Les principes fondamentaux de la théorie de la lampe.' St Petersburg. 1905.

[23] Gale, T. 'Rock Oil in Pennsylvania and Elsewhere.' Erie. 1860.

[24] Gesner, A. 'A Practical Treatise on Coal, Petroleum and other Distilled Oils.' New York. 1861.

Antisell, T. 'The Manufacture of Photogenic or Hydro-Carbon Oils.' New York. 1860.

[25] Schmitz, P. M. E. 'L'Épopée du pétrole.' Pichon & Durand-Auzias, Paris. 1947.

[26] British Patents of 27 June, 1865, and 16 October, 1865.

[27] Romp, H. A. 'Oil Burning.' Nijhoff, The Hague. 1937.

[28] Peabody, E. H. 'Oil Fuel.' Newcomen Society of North America, New York. 1942.

[29] Coulomb, C. A. 'Théorie des machines simples.' Paris. 1779.

[30] Reynolds, O. "On the Theory of Lubrication and its Application to Mr Beauchamp Tower' s Experiments, including an Experimental Determination of the Viscosity of Olive Oil." . *Phil. Trans.*, 177, Pt I, 159, 1886.

Rüllmann, O. 'Über die Wichtigkeit der Reibung.' Berlin. 1885.

[31] Hirn, G. A. *C. R. Acad. Sci., Paris*, 99, 127, 1884.

Idem. Bull. Soc. industr. Mulhouse, 26, 128, 1854.

[32] *Schweiz. polyt. Z.*, 8, 1863.

[33] Armstrong. H. E. *J. Soc. chem. Ind., Lond.* , 3, 462, 1884.

[34] Young, J. W. *Trans. Newcomen Soc.*, 18, 109–29, 1936–7.

Le Gallec, Y. *Tech. et Civil.* , 2, 28–33, 1951.

Schulz-Witthuhn, G. 'Von Archimedes bis Mercedes. Eine Geschichte der Kraftfahrzeuge bis 1900.' Int. Motor Edition, Frankfort. 1952.

[35] U. S. Patents Nos 342, 564 and 342, 565. 1886.

[36] British Patents No. 6, 466 of 1890 ; and No. 1, 308 of 1891.

U. S. Patent No. 477, 153. 1890.

French Patent No. 209, 809. 1890.

第2编

原动机



第 6 章

固定式蒸汽机（1830—1900）

A. 斯托尔斯（A. STOWERS）

6.1 引言

17 世纪中叶，人们进行了一些关于大气压的早期实验，而帕潘（Denis Papin，1647—1714）在 1690 年首次用蒸汽来推动活塞的尝试，可以说导致了蒸汽机最初设想的产生。这些，我们在本书中（第Ⅳ卷，第 6 章）已经予以描述。但是，为了掌握这段历史的发展主线，我们必须扼要地重述一下这些早期的工作。

萨弗里（Thomas Savery，1650—1715）是第一个制造实用蒸汽泵的人，他在 1698 年获得了“用火的推动力（the Impellent Force of Fire）……来提水”的著名专利。这台蒸汽泵没有活塞，而是依靠一种蒸汽压力，当时所具有的材料和加工方法不能适用，沿着这条道路的发展被无情地阻断了。

纽科门（Newcomen）的天才杰作在于把汽缸与人们熟知的往复泵组合起来，汽缸中的活塞与一根置于顶上的木制横杆的一端相连，横杆的另一端则与往复泵相连，通过冷凝蒸汽的方法，使活塞下方的压力小于大气压力，从而使这个组合体工作。大约在 1712 年，纽科门最先把这种蒸汽机变为一种实用的机器。这种机器功率大，运行可靠，

甚至挽救了英国因水灾而濒临破产的锡矿和煤矿。斯米顿（Smeaton）进一步改进了纽科门蒸汽机的设计与制造，使它在长达60年的时期内无可匹敌。

1765年，瓦特（Watt）发明了分离式凝汽器，这是蒸汽机发展史上的一个重大进展。1769年，他取得了关于分离式凝汽器的专利。这种凝汽器能保持处于某个恒定的低温，汽缸则始终处于与输入的蒸汽近似相同的温度。1782年，瓦特又实现了两项更为著名的改进并取得专利。第一项改进是让蒸汽交替地作用于活塞的两边，使活塞受到双重作用从而使汽缸的功率翻了一番。第二项改进是在活塞冲程结束之前就切断进入汽缸的蒸汽流，靠蒸汽的膨胀使活塞运动，从而节省了蒸汽的消耗。后来，蒸汽压力提高了，这种节省的效果就变得更为显著了。

从1775年到1800年，瓦特与博尔顿（Boulton）合作进行了蒸汽机的研制工作。他们的合作可能抑制了其他发明家的努力，但无疑给蒸汽机工业打下了一个坚实的基础，导致双作用的回旋杆蒸汽机及其凝汽器和离心式调速器的诞生。到1787年，这种蒸汽机在一定程度上已变得标准化了，成了工业上最重要、最可靠和最有效的动力源。这种地位一直保持到分离式凝汽器专利期满和他们的合作结束，而且事实上又继续保持了许多年。

125

从1800年开始，一些发明家开始研制新型蒸汽机，不再受瓦特专利的约束。当时出现了许多蒸汽机的变型，但很快就消失了。然而，在整个19世纪期间，蒸汽机的设计开始形成了一些不同的类型，分别是康沃尔式蒸汽机、复胀式的横杆式蒸汽机，单胀式和复胀式的卧式蒸汽机，在较高蒸汽气压下工作的立式非凝汽式蒸汽机，运转速度远高于其他单胀式、复胀式或三胀式的凝汽式蒸汽机。我们后面将介绍这些类型的蒸汽机的发展过程。随着动力需求的增大，蒸汽机所需的蒸汽增多，陆上锅炉的设计开发工作也随之开始。但是，在我们所论述的这一时期的最后16年中（1884—1900），一

种与蒸汽机产生竞争的动力机械——蒸汽轮机诞生了，它的发展之迅速令人惊异，以致到20世纪初时固定式蒸汽机在许多应用方面被淘汰了。

蒸汽机在1830年时的状况，在不同地方呈现出不同的图景。瓦特的喷射凝汽横杆式蒸汽机使用的蒸汽压强至多超过标准大气压每平方英寸2磅或3磅，是大工厂和磨坊的标准动力源。当然，许多地方仍然采用水车，但水车已经开始不适应需要，而且功率在干旱、水灾或严寒时节很可能会减少。在小工厂里，往往使用莫兹利（Maudslay）那种较便利的台式蒸汽机和弗里曼特尔（Freemantle）所发明的轻型蒸汽机。对矿山抽水和公用供水来说，特里维西克（Trevithick）的高压康沃尔横杆式蒸汽机不可匹敌，蒸汽用康沃尔式锅炉来供给，压强为每平方英寸50—70磅。在英国，伍尔夫（Woolf）的复胀式蒸汽机（第Ⅳ卷，边码191）未曾发展到人们所预想的那种程度，这是因为英国人偏爱于使用低压蒸汽，又拥有丰富的煤，而且与单胀式蒸汽机相比，伍尔夫蒸汽机较为复杂，成本也高。不过，法国制造的伍尔夫蒸汽机成功地推广到了整个欧洲大陆，因为在那里煤的成本相当高。事实上，在长达几十年里，海外一直把复胀式蒸汽机称为伍尔夫蒸汽机。然而，正确地指出蒸汽机应朝蒸汽气压和速度更高、膨胀范围更大、部件更轻的方向发展的人，却是英国的特里维西克和美国的埃文斯（Oliver Evans）（第Ⅳ卷，第6章）。

126

6.2 康沃尔横杆式蒸汽机

在让康沃尔的开拓者们支付约定的（关于用他们的蒸汽机使燃料节省方面的）专利权使用费上，博尔顿和瓦特遇到了麻烦，最终与康沃尔郡断绝了关系。这样，康沃尔人就不得不靠自己的努力建造了一些大铸造厂。在矿长戴维（Davey）和利恩（Lean）建立导致竞争精神的月报制度之前，由于管理不善和疏忽，现有的瓦特蒸汽机的效率下降

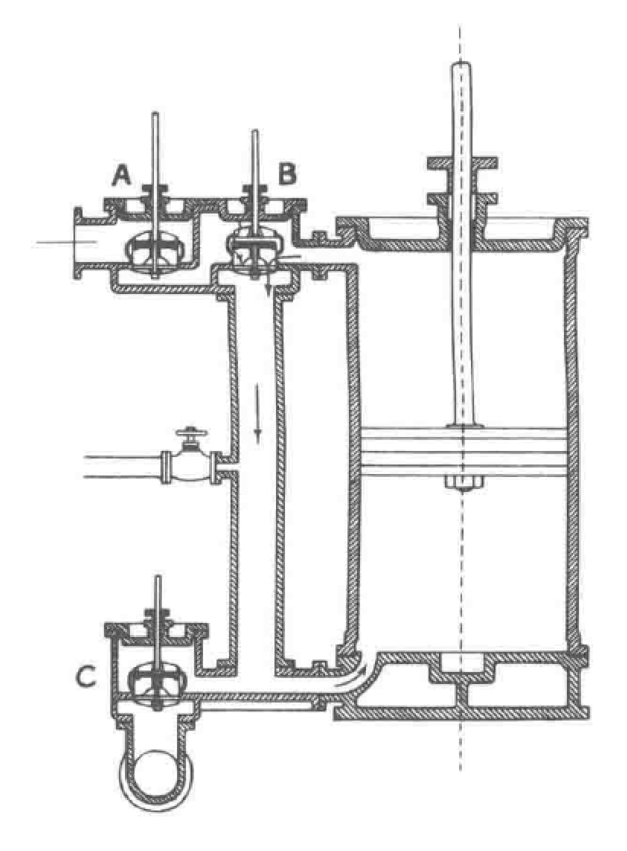


图 47 单作用康沃尔式抽水用蒸汽机的汽缸和阀门剖面图。

了。由于特里维西克的康沃尔式圆筒形单烟道锅炉的蒸汽压强较高，达到了每平方英寸 50 磅以上，再加上由伍尔夫领导的康沃尔工程师们的不断努力，到 1840 年时，单作用康沃尔式抽水用蒸汽机的能率[1]增大到了瓦特蒸汽机的 2.5 倍左右。

康沃尔循环取得了如此显著的成功，因而值得对它进行比较详细的论述。图 47 给出了单作用康沃尔式抽水用蒸汽机的汽缸和阀门剖面图。开始时，活塞位于顶部，由锅炉供给的压强为每平方英寸 40—50 磅的蒸汽流经进气阀 A 进入汽缸，驱动活塞向下运动，此时阀门 B 处于关闭状态。同时，活塞下面的汽缸空间通过排气阀 C 与凝汽器相通。当活塞运动到行程的 1/10 至 1/5 时，阀门 A 关闭，切断了蒸汽流，剩余的行程靠蒸汽的膨胀来完成。在一个缓冲调节器的作用下，活塞暂停了一下，以让泵筒里注满水，随后在行程结束时，平衡阀 B 开启，而阀门 A 和阀门 C 关闭。这时，蒸汽从活塞上部通过阀门 B 流到活塞下部的空间中，但不直接流入凝汽器。在泵杆和滑块重量的作用下，处于平衡状态的活塞再次上升，移动到接近汽缸顶部时，阀门 B 关闭，剩余的蒸汽被压缩而起到了缓冲效应，同时废气通过阀门 C 排入凝汽器。这里用了哈维（Harvey）和韦斯特（West）在 1839 年发明的双座阀，以消除旧式瓣阀突然关闭时所引起的震动。康沃尔式蒸汽机经济效果提高的主要原因是：(1)

127

1 能率是关于抽水用蒸汽机性能的一种简便的度量法，即耗用 1 蒲式耳（84 磅）的煤能将多少磅的水提升 1 英尺。

提早切断蒸汽流；(2) 利用蒸汽膨胀来做功；(3) 从进汽到排汽，温度的下降实际上是分两个阶段进行的，即在活塞上方是从进汽到放汽，在活塞下方是从放汽到排汽，这样就使得活塞上方的余隙空间从不与凝汽器直接相通；(4) 汽缸、蒸汽管路和锅炉的隔热层防止了热量向周围空间的散发。

图 48 给出了泰勒 (Taylor) 关于康沃尔式抽水用蒸汽机的一个

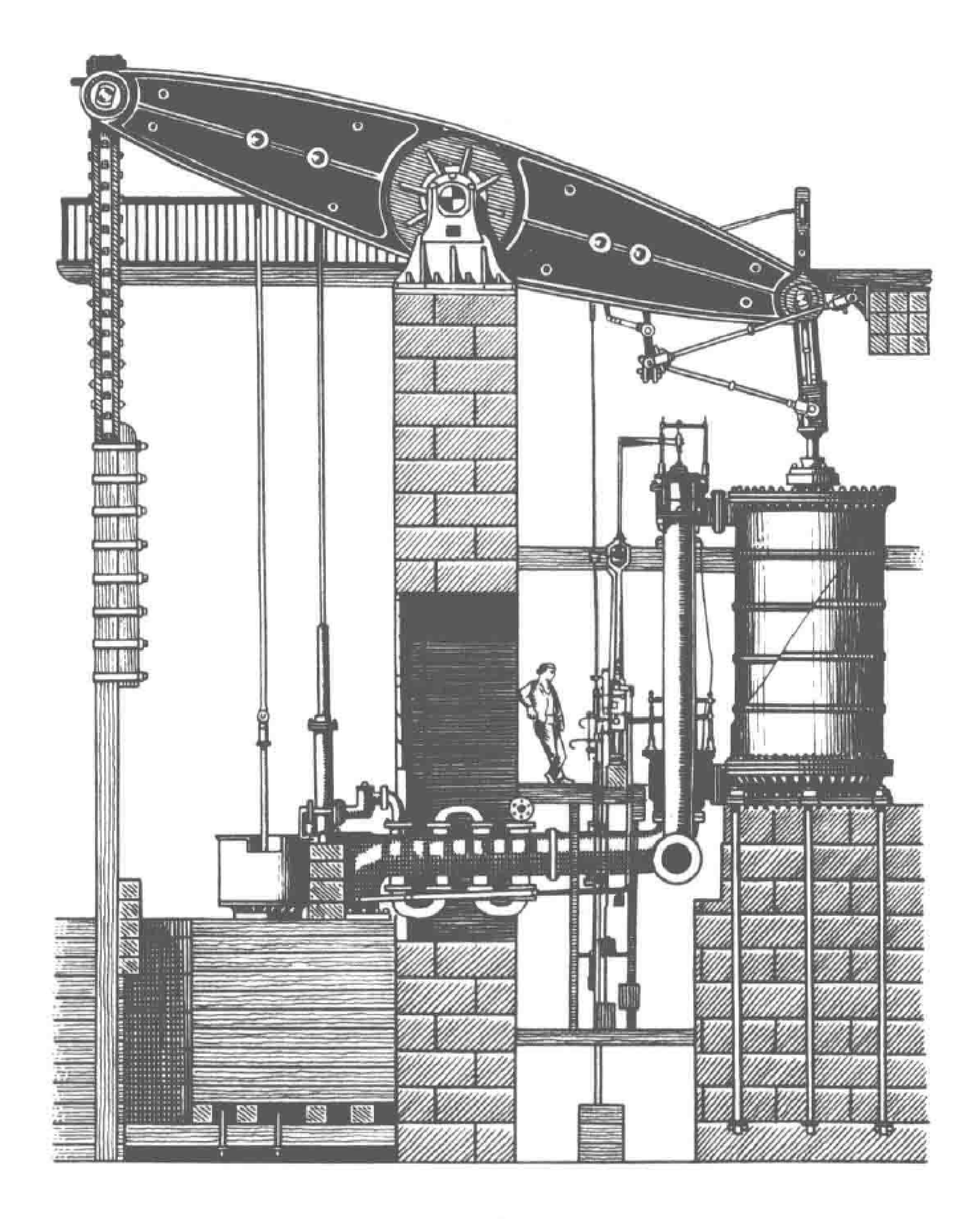


图 48 泰勒的康沃尔式抽水用蒸汽机，1840 年。

很好的构思。1840 年，佩伦铸造厂（Perran Foundry）为联合矿业公司（United Mines）制造了一台这样的蒸汽机。它的大小可用图中值班员的身高来推断。它的汽缸直径为 85 英寸，行程为 11 英尺，每分钟完成 7.5 次往复行程时，产生的最大功率为 220 马力。这一数值是在 1851 年用这种泵每分钟抽水 500 加仑时测得的，那根铁横杆则由固定在一起的长度均为 34 英尺的两根平行铸件制成。在 1840 年有限的设备条件下，制造和安装这样的大型蒸汽机需要相当熟练的技术，这不得不令人对那时的康沃尔工程师们所取得的杰出成就表示赞赏和尊敬。

最初，对于当时所声称的康沃尔式蒸汽机的经济效果，英国其他地区主管大型给水设备的工程师们表示怀疑。当时，他们面临的任务是设法去满足因工业发展和人口增加而引起的供水量大增的需要（第 23 章），但同时又面临着煤的成本高这一不利条件，因为所用的煤往往是从很远的地方运来的。于是，东伦敦自来水公司（East London Waterworks Company）的董事会派遣工程师威克斯蒂德（Thomas Wicksteed）前往康沃尔，去调查有关康沃尔式蒸汽机的那些说法。由于他提出了表示赞同的调查报告，公司在 1837 年买了一台与那时在福伊康索尔斯（Fowey Consols）所用的蒸汽机相似的二手机器。这台蒸汽机已经达到了不小于 9500 万磅的能率，这是当时的最高纪录。1838 年，这台蒸汽机重新安装在老福德泵站（Old Ford Pumping Station），测试结果是抽水能率达到了 9000 万磅，而瓦特蒸汽机的抽水能率只有 4000 万磅。在那里，这台蒸汽机一直使用到 1892 年被拆掉时为止。在这半个世纪中，采用康沃尔式蒸汽机已成了规范的做法。当旧锅炉必须更换时，也往往把原来用的瓦特蒸汽机改装成康沃尔循环方式来进行工作。然而，诺森伯兰煤矿直到 1860 年才开始采用康沃尔式蒸汽机，因为那里有大量的煤，煤质虽差，但价格便宜，因而不像其他地方那样鼓励节约用煤。

随着制造经验的丰富以及大量需要蒸汽机的矿井的深度越来越

深，蒸汽机的规格也随之增大。1856年，海尔的哈维公司（Harvey & Company）为索思沃克和沃克斯豪尔自来水公司（Southwark and Vauxhall Water Company）的巴特西泵站制造了一台汽缸直径112英寸、行程10英尺的蒸汽机。

由于康沃尔式蒸汽机保护协会（Cornish Engines Perservation Society）的成功努力，一些出色的康沃尔式蒸汽机才免遭破坏而保留了下来。其中一台蒸汽机由船长格罗斯（Samuel Grose）设计，桑兹、卡恩和维维安公司（Sandys，Carne & Vivian）于1854年在海尔的科珀豪斯铸造厂（Copperhouse Foundry）建造，汽缸直径为80英寸，行程为10英尺4英寸。它是现存的最古老的康沃尔式蒸汽机中的一台，经过两次迁移以后，最终在1903年重新安装在南科罗夫蒂（South Crofty）的罗滨逊的竖井矿区，并在那里连续工作了50年，现已光荣“退休”。一台更大的蒸汽机由哈维公司的海尔铸造厂（Hayle Foundry）按照特雷斯特雷尔（Nicholas Trestrail）的设计为布雷亚角矿（Carn Brea Mine）制造，它是在康沃尔郡制造的最后一批这种类型的蒸汽机中的一台，汽缸直径为90英寸，行程为10英尺，重125吨，1924年重新安装在东普尔和阿加尔矿（East Pool and Agar Mine）。

由于伦敦是英国人口最多的城市，满足对水的需求一直是各个供水企业所面临的迫切任务，这些供水企业是在1902年大都会水务局（Metropolitan Water Board）建立之前的19世纪发展起来的。为伦敦制造的功率最大的康沃尔式蒸汽机之一被命名为“维多利亚”（Victoria），它由哈维公司为东伦敦自来水公司制造，1854年安装在利桥（Lee Bridge）的泵站，汽缸直径为100英寸，行程为11英尺，由8台康沃尔式锅炉供给蒸汽，蒸汽压强为每平方英寸40磅。

值得注意的是，康沃尔横杆式蒸汽机是在康沃尔郡制造的，甚至到了20世纪还是这样。例如，到1904年时，坎伯恩的霍尔曼弟兄有限公司（Holman Brothers Limited）还为卡那封的多罗西页岩采石有限

公司（Dorothea Slate Quarry Company Limited）制造了一台汽缸直径为68英寸的康沃尔式蒸汽机。

另一台蒸汽机虽然外观上看起来与康沃尔式蒸汽机很不一样，但它依然以康沃尔式循环的方式来工作。因为它由布尔（Edward Bull）在1792年引入，这种机器，被称为布尔蒸汽机，不过布尔侵犯了瓦特的分离式凝汽器的专利权，这种机器的汽缸靠横贯机房的一些横梁支承在泵轴上方，穿过汽缸底盖的活塞杆与泵筒柱塞直接相联。布尔去掉了笨重的横梁，采用了小型的机房。在19世纪，制造厂家能自由地制造这种类型的蒸汽机。哈维公司制造了数台这种类型的蒸汽机其中两台是在1855年制造的，汽缸直径为66英寸；一台是在1857年制造的，汽缸直径为70英寸；还有一台是在1871年制造的，汽缸直径是90英寸。这些机器都是为索思沃克和沃克斯豪尔自来水公司制造。

在伦敦附近的丘桥（Kew Bridge）泵站，大都会水务局保存了一台由哈维公司1859年制造的汽缸直径为70英寸的布尔蒸汽机，还保存了四台具有历史意义的大型蒸汽机。四台大型蒸汽机中，两台分别在1820年和1838年制造，一台是64英寸瓦特横杆式抽水用蒸汽机，另一台是64英寸莫兹利横杆式抽水用蒸汽机，后来，都被改造为康沃尔循环方式。另外两台是1846年由桑兹、卡恩和维维安公司制造的90英寸康沃尔式抽水用蒸汽机和1871年由哈维公司制造的100英寸康沃尔式抽水用蒸汽机。后者一直用到1946年5月。

尽管康沃尔式蒸汽机制造得非常坚固，几乎不会被用坏，但它的命运取决于不断升高的锅炉压力。当一个汽缸中的蒸汽膨胀达到经济上的极限时，人们就用有两个或三个汽缸的复胀式蒸汽机来取代。

6.3 卧式蒸汽机

大约 100 年中，工程师们一直在制造和使用具有立式汽缸的蒸汽机。因此，引入卧式蒸汽机很不容易，一个原因是担心活塞的自重会使汽缸下半部比上半部磨损得更快，另一个原因是在没有合适机床的情况下，要加工出可让十字头在上面滑动的平坦表面是不现实的。固定的卧式蒸汽机从 1826 年开始制造，目的是驱动制造厂和碾磨厂中的机器。据说，一家伦敦的公司——位于城市路(City Road)的泰勒－马蒂诺公司(Taylor & Martineau)当时制造了最早的一种卧式蒸汽机。它就是 1826 年出版的一幅版画中所示的那台蒸汽机(图 49)，汽缸水平地安装在两个铸铁侧架之间，两个侧架还支承着曲轴轴承以及为十字头上的滚轴而设置的导槽，水平的活塞阀和凝汽器均位于汽缸下方。

19 世纪，一些有名的公司——霍恩斯比(Hornsby)、罗比(Robey)、坦耶(Tangye)、马歇尔(Marshall)、加洛韦(Galloway)、马斯格雷夫(Musgrave)和希克－哈格里夫斯(Hick-Hargreaves)等公司，制造了成

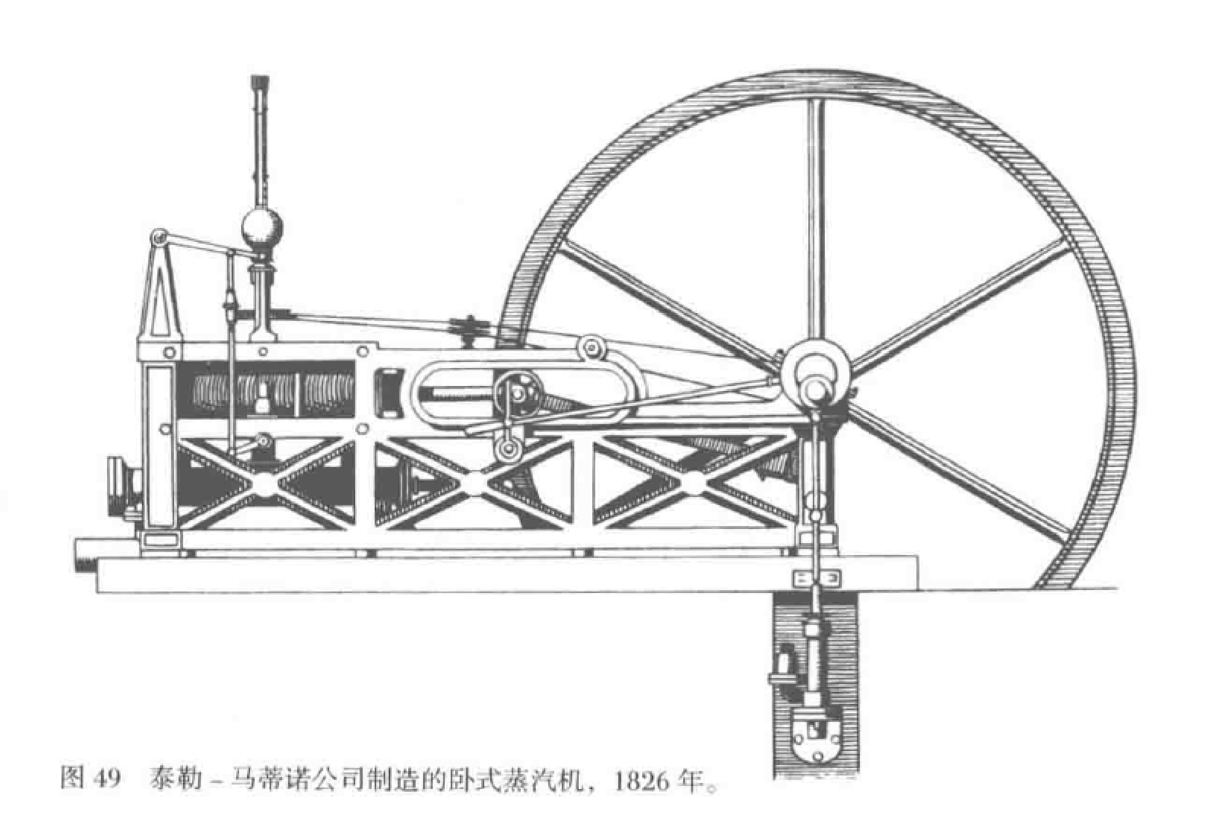


图 49　泰勒－马蒂诺公司制造的卧式蒸汽机，1826 年。

千上万台靠康沃尔和兰开夏锅炉来提供蒸汽的卧式蒸汽机。由霍恩斯比公司制造的一台典型的小功率卧式蒸汽机，如图版 7A 所示。设有蒸汽套的汽缸坐落在铸铁底座上，滑槽与底座铸成一体并且钻有孔。曲轴销与一个悬垂的曲轴板相连，曲轴的外端靠一个独立的轴承来支承。调节器根据机器的负荷自动地调节膨胀程度，曲轴上有两个偏心轮驱动主滑阀和止回阀（或叫膨胀阀）。这台蒸汽机的汽缸直径为 12.25 英寸，行程为 22 英寸，当蒸汽压强为每平方英寸 60 磅、转速为 95 转时，能产生 50 马力的指示功率。一系列功率最大为 185 马力的蒸汽机采用了同样的结构。霍恩斯比公司制造的最大的蒸汽机的汽缸直径为 22 英寸，行程为 40 英寸。

在美国，发展的趋势是制造转速相当快的蒸汽机。1863 年，费城的索思沃克铸造机械公司（Southwark Foundry & Machine Company）制造了由波特（C. T. Porter）设计的波特–艾伦（Porter-Allen）蒸汽机，它装有一个悬垂的汽缸，以每分 350 转的较高速运转，能产生约 168 马力的功率。大约在 1881 年，英国利兹的格林伍德–巴特利公司（Greenwood & Batlay）还制造了另一台美国式的西姆斯（Armington Sims）蒸汽机，它为直接驱动发电机而专门设计，无须使用钢索或皮带来传动（边码 134）。这台蒸汽机采用了短的行程和连杆，加固了底座，转速达到了每分 350 转。它的汽缸直径为 6.5 英寸，行程为 8 英寸，能产生 18 马力的指示功率。

大量的单缸双作用卧式蒸汽机都是基本相同的，只是阀动装置和调节器各式各样，目的都是提高速度和蒸汽压强，以便产生更大的功率，同时还为了在蒸汽消耗上更为节省。随着机床品种的增多和质量的提高（第Ⅳ卷，第 14 章），蒸汽机零件可以制造得更加精确，而且成本也降低了。在美国，开始用落阀取代滑阀来进汽和排汽。1841 年，西克尔斯（Frederick E. Sickels）获得了他的落阀蒸汽停气装置的专利权。1849 年，科利斯（George H. Corliss）取得了关于用柱形摆动阀的

阀动装置的专利。后来，这种装置被大量采用。在1867年巴黎万国博览会和1876年费城百年展展出以后，装有这种阀动装置的大型立式蒸汽机便开始广为流传。

但是，英国直到1855年才出现了一种与横杆式蒸汽机进行竞争的比较简单的廉价卧式滑阀蒸汽机，并且一直到1864年才开始被广泛采用。这方面的进展应该归功于1833年由希克（Benjamin Hick）在博尔顿创立的希克－哈格里夫斯公司，因为它制造了科利斯的阀动装置。1859年，苏格兰引进了一台科利斯蒸汽机。这种类型的蒸汽机之所以会取得成功，是因为它能节省蒸汽消耗和运行稳定，后者正是纺织工业所迫切需要的，毕竟经常断线会严重妨碍生产。到1880年前后，尽管只进行一级蒸汽膨胀，但按标准设计制造的单胀式蒸汽机已能满足大多数工业的需要。例如，1880年制造了一种1500马力的卧式单缸凝汽式科利斯蒸汽机，汽缸直径为52英寸，行程为6英尺，工作时蒸汽压强为每平方英寸80磅，单飞轮就重达90吨。

132

对更大功率的需求，导致了具有较高蒸汽压的多级膨胀式蒸汽机的发展。图版7B是一种典型的凝汽复胀式磨坊用蒸汽机，两个汽缸串联排列，是安装在一个底板上，两根活塞杆驱动一根单一的悬垂式曲轴，曲轴则带动一个曲轴盘和一个开槽的飞轮。高压汽缸上装有双座式进气阀，它由普罗尔（W. R. Proell）在1881年取得专利权的可变膨胀搬动机构来驱动。在弹簧的作用下，这些受波特调速器控制的阀门能迅速关闭，高压汽缸的排气阀和低压汽缸的进气阀、排气阀都是科利斯型阀门。在松动连接于每根阀杆上的肘节板上装有一个与阀杆上的阀臂啮合的弹簧掣子，肘节板在偏心轮的作用下来回摆动。当弹簧掣子在一个可调滚子的作用下脱离阀臂时，此阀就被释放，并在弹簧和减振器的作用下关闭。一个偏心轮操纵进气阀，而另一个偏心轮操纵所有的排气阀。在压强为每平方英寸100磅的蒸汽作用下，这台汽缸直径分别为12英寸和21英寸、行程为30英寸的双缸蒸汽机的

转速为每分 110 转，功率为 185 马力。喷射凝汽器位于地板下面，旁边的抽气泵和给水泵由低压汽缸尾杆处的 L 形杠杆来驱动。1881 年制造的一台 4000 马力交叉复胀式科利斯蒸汽机的高压汽缸直径为 50 英寸，低压汽缸直径为 84 英寸，两个汽缸的行程均为 8 英尺，锅炉压强为每平方英寸 100 磅。

旧式的传动系统采用铸铁正齿轮和伞齿轮，把地面的蒸汽机动力传送到楼上的工厂中。应付如此递增的功率，这种传动方式实在是太麻烦了，而且噪声很大。此外，为了确保大量的纵轴和横轴的正确定位，不得不采用笨重的基础和轴承。大约在 1877 年，皮带传动取代了伞齿轮传动，不久又采用了钢索传动，后来发展成了钢索通道系统。

133

一台由珀金斯（Jacob Perkins）在 1827 年构思并由托德（Todd）在 1885 年获得专利的令人感兴趣的卧式蒸汽机，后来被称为单向流动式蒸汽机。在这台机器中，蒸汽通过滑阀被引入汽缸两端，并通过中部的一列排气口逸出。活塞起着排气阀的作用，长度等于行程减去汽缸的余隙部分。这台机器的优点是能使气缸两端保持高温，使公共的出口侧保持较低的排气温度，但它制造起来很困难。在斯顿夫（J. Stumpf）1908 年获得了一项关于更为合适的阀动装置专利以后，它便变成了一种成功而又经济的蒸汽机。

6.4 立式高压蒸汽机

虽然像上面已经阐述过的那样，康沃尔循环相当重要，但许多横杆式蒸汽机并不以康沃尔循环方式来工作。当原先的锅炉报废时，它们就被以较高压力工作的新锅炉所取代。采用把瓦特蒸汽机改装成复胀式的办法，即通常在横杆的另一侧增加一个高压小汽缸，使原来的汽缸变成低压汽缸，便可使许多瓦特蒸汽机的寿命延长，而且功率也能增大。1845 年，麦克诺特（William MacNaught）获得了关于这种系

统的专利，因而这种类型的蒸汽机被称为“麦克诺特”式蒸汽机。但是，新的复胀式蒸汽机通常是把两个汽缸联结在一起而制成的。霍恩布洛尔（Jonathan Hornblower）在1781年获得了关于双缸蒸汽机的专利，而伍尔夫则在1804年再次获得了关于多胀式蒸汽机的专利，并且制造了许多这种类型的蒸汽机。

到19世纪中叶，多胀式蒸汽机开始确立了它的地位。图版10A给出了由威斯敏斯特的霍恩（Thomas Horn）在1860年前后制造的精致的小型双作用凝汽式多胀式横杆式蒸汽机。它安装在萨塞克斯郡艾菲尔德（Ifield）的一家磨坊中，用来驱动一台磨面机，而且一直用到1914年。当蒸汽压强为每平方英寸45磅、转速为每分50转时，它的功率为16马力。

无横杆式蒸汽机是在19世纪初期由特里维西克制造的。到了19世纪中期，已经制造了多种多样的这类蒸汽机，其中有曼彻斯特的威廉·费尔贝恩公司（William Fairbairn & Company）所造的柱式和立式卷扬机用蒸汽机，还有前面提到过的莫兹利父子－菲尔德公司（Maudslay, Sons & Field）所造的台式蒸汽机。大约在1850年，内史密斯（James Nasmyth）发明了一台立式蒸汽机（图50），结构与他设计的著名的蒸汽锤相似，上面是汽缸，下

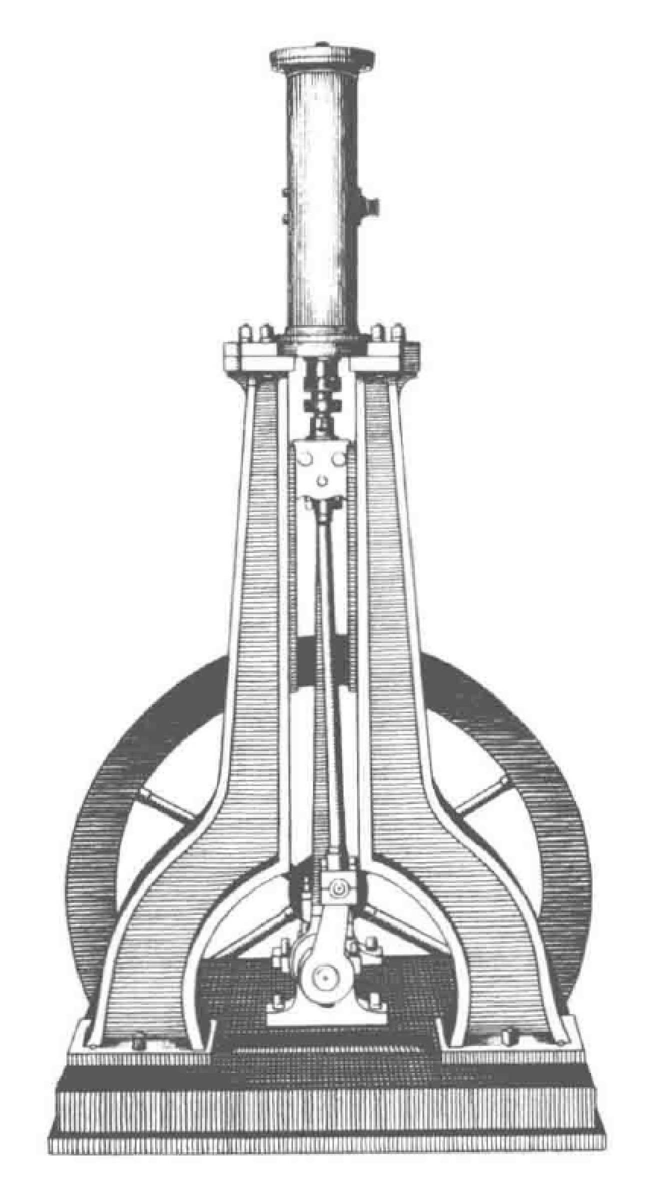


图50 内史密斯的“倒立式”或蒸汽锤式蒸汽机，约1850年。

面铁砧的位置上是曲轴。这种新结构的蒸汽机在许多年内一直被称为"倒立式"蒸汽机，但后来被认为是标准的固定式蒸汽机，而且在19世纪后半叶广泛地用来驱动水泵和高炉用鼓风机。

当1881年爱迪生在纽约的珍珠街（Pearl Street）建立第一个中心电力站时，他的最重要的创新之一就是用高速蒸汽机来驱动直接与它们连接的爱迪生发电机。这种蒸汽机是西姆斯的卧式蒸汽机，在转速为每分350转时，每台蒸汽机能产生175马力的功率。随着电灯的发展，人们曾进行过许多种用皮带从现有的低速蒸汽机或传动轴上引出动力来驱动高速发电机的尝试。但是，这些尝试都没有取得成功，因为很长的皮带传动装置占据了很大的地面空间，加上调速精度不够高，不仅很危险，而且不足以消除弧光灯的闪烁现象（边码208）。

在引入了高速立式蒸汽机以后，这个问题便比较圆满地解决了。这种蒸汽机直接与专门设计的发电机相连，发电机的转速与蒸汽机的转速相同，两台机器安装在同一个基座上，形成了一个更紧凑和更安全的装置。第一批这种成功的蒸汽机中，有一台是由威斯汀豪斯（George Westinghouse）发明、由美国的威斯汀豪斯公司和格拉斯哥的阿利－麦克莱伦有限公司（Alley & MacLellan Limited）制造的。这是一种立式单作用蒸汽机，由两个汽缸和一个双曲柄曲轴构成。如同内燃机那样，连杆直接装在筒形活塞上。由于除去了活塞杆和十字头，往复运动部件的重量减轻了。运动部件密闭在曲轴箱内，靠飞溅润滑系统来进行润滑。蒸汽是靠活塞阀来配给的，此阀或是位于汽缸上方，或是位于两个汽缸之间，并由曲轴上的一个偏心轮驱动。

1871年，英国的布拉泽胡德（Peter Brotherhood）获得了一项新型蒸汽机的专利，用于直接驱动机械，速度比原先要高得多。这种蒸汽机有三个以辐射状固定在一个垂直平面内的汽缸，每个汽缸之间的夹

角为 120°。它有一系列的规格，从转速为每分 1000 转、功率为 1.25 马力到转速为每分 500 转、功率为 55 马力。

高速蒸汽机发展方面的一个重要进步是由威兰斯（P. W. Willans）取得的，他在 42 岁时逝于一次事故。在有生之年，他设计并制造了几种类型的蒸汽机，其中最著名的固定式蒸汽机是单作用式中心阀蒸汽机，主要专利在 1884 年和 1885 年获得。从 1880 年起，他就产生了关于这种蒸汽机的构思，画了一些表示阀门位于活塞杆内部的草图。1885 年，他设计的第一台蒸汽机在泰晤士迪顿的威兰斯－鲁滨逊公司（Willans & Robinson）的渡船厂里制造。两年的时间里，威兰斯设计了一系列 9 种规格的蒸汽机，低压汽缸直径由每分 750 转时的 5 英寸增大到每分 350 转时的 20 英寸。其中 4 台小规格的蒸汽机被放弃了，5 台较大的蒸汽机重新进行了设计，能产生 25—100 马力的指示功率。这些蒸汽机能被制造成单胀式、复胀式或三胀式的蒸汽机，具有一个、两个或三个曲柄。 135

图 51 展示了一台这种类型的典型的双曲柄复胀式蒸汽机，高压汽缸往往装在顶部，装在底部的导向活塞在箱体内运动，起着空气缓冲作用。这种蒸汽机是单作用式的，往复运动部件不产生应力反向，总是受到恒定的推力，因而运转平稳，不会出现冲击现象。蒸汽的配给靠图中左边所示的一系列互连的垂直活塞阀在空心的活塞杆内上下运动来实现，这是它的一个新颖的特点。活塞杆的壁上开有一些排气口，这种结构减小了排气口间隙和由这些间隙所引起的损失。这些阀门靠曲轴上的一个偏心轮来驱动，活塞直接与空心的活塞杆联结，并且借助于两根连杆使曲轴旋转，连杆上装有围绕曲柄销的大端部轴承。密闭的曲柄箱内采用了飞溅润滑系统，蒸汽机的速度靠装有弹簧的离心式调速器来控制，后者装在曲轴上飞轮对面的那一端。 136

许多用来驱动发电机的此类蒸汽机在泰晤士迪顿地区制造，后

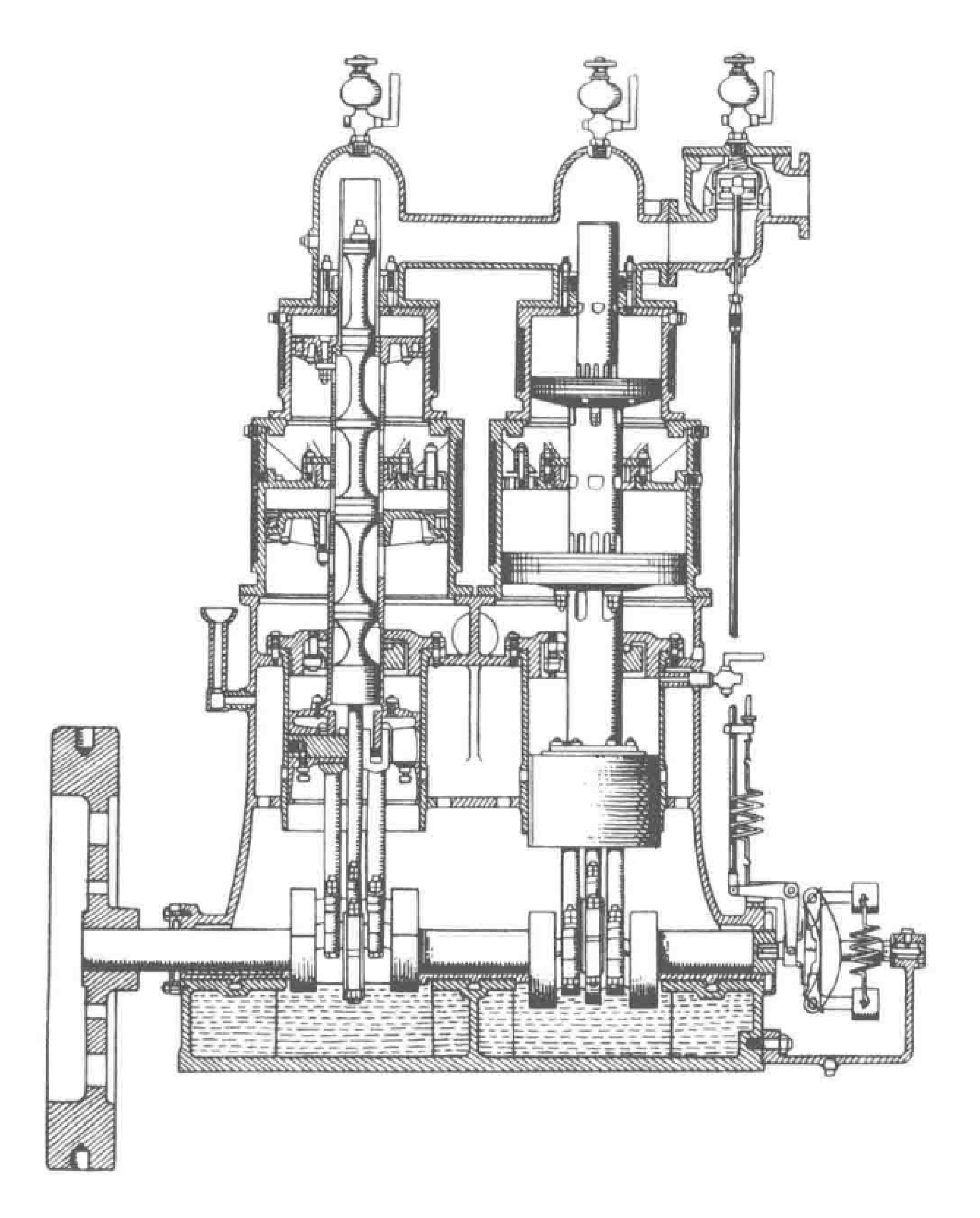


图 51　双曲柄复胀式威兰斯蒸汽机，约 1888 年。这种类型的蒸汽机的汽缸通常位于顶部。

来又在拉格比制造。在 1890 年至 1900 年期间制造的蒸汽机，功率从 300 马力提高到了 2400 马力。威兰斯是蒸汽机部件编组的先驱者他采用了一种标准化体系，某一规格蒸汽机的高压汽缸与比它小一规格的蒸汽机的低压汽缸具有相同的尺寸。这样一来，这些可互换的汽缸、活塞、活塞环、阀门等零件能够大批量地制造备用，接到一台蒸汽机的订货单后，可以立即从仓库里领出所需的零件。威兰斯还坚持要求以非常小的公差带来制造零件，许多零件的制造公差

带在0.001英寸范围内，那台他用来进行经典的经济性试验的中央阀门蒸汽机保存至今。

但是，更常见的高速立式蒸汽机是双作用式的，小功率蒸汽机的制造则是进入20世纪多年后的事了。最成功的制造者之一是伯明翰的贝利斯（G. E. Belliss），他的杰出贡献是把设计者佩因（A. C. Pain）在1890年获得专利权的强制润滑新系统应用到机器的主要运动零件上。在此之前，如果要提高双作用式蒸汽机的速度，就必须非常精密地调整轴承，以使运转平稳。由于热膨胀的缘故，当温度上升后，温度低时的间隙就不够用了，曲柄销和轴承会很容易卡住，从而导致机器的严重损坏。强制润滑系统可使双作用式蒸汽机在高速下正常运转，而不会引起过度磨损和发生冲击。事实上，这种润滑系统后来被推广应用到了几乎所有的蒸汽机、汽轮机和其他高速机械中。图版8B给出了第一台采用强制润滑系统的蒸汽机，它在1890年由贝利斯－莫科姆有限公司（Belliss & Morcom limited）制造的，至今仍然保存着。这台蒸汽机在转速为每分625转时能产生20马力的功率，润滑油靠一个小型摆动泵以每平方英寸15磅的压强来循环，摆动泵无须密封，也没有阀门，安装在基座上的一个油池中，靠一个偏心轮来驱动。

许多高低压汽缸并排设置、曲柄相隔180°的复胀式蒸汽机，都是由贝利斯－莫科姆有限公司和其他一些公司——艾伦、布拉泽胡德、布劳伊特（Browett Lindley）和西森（Sisson）等公司制造的，转速为每分250转时的功率普遍都高达1000马力。后来，一种用过热蒸汽来推动的大型凝汽式三胀式蒸汽机出现了，能够产生高达2900马力左右的指示功率。但是，到了1900年，蒸汽轮机开始在陆上应用，被用来驱动那时新兴的电气工业的产物——交流发电机（第9章），大型蒸汽机由此出现衰落趋向，有些蒸汽机制造厂便开始生产蒸汽轮机。但是，在详细介绍蒸汽轮机之前，必须先论述一下锅炉的发展过程。

6.5 陆上应用的蒸汽锅炉

没有锅炉的相应发展，就不会有蒸汽机的进步。曾经用于瓦特蒸汽机的带有支柱的货车型锅炉，一直使用到19世纪中叶。但是，大约在1812年之后，英国的特里维西克和美国的埃文斯各自独立发明的康沃尔式圆筒壳型单烟道锅炉被普遍采用。1844年，曼彻斯特的费尔贝恩和赫瑟林顿（J. Hetherington）取得了一项关于兰开夏双烟道壳型锅炉的专利，这种锅炉因其容量较大而使用广泛。新发明的两种锅最初都用辊轧的熟铁板铆接制成，但在1865年以后开始使用低碳钢板。因为一直没有出现使用高压蒸汽的突然要求，直到19世纪末期，这两种锅炉仍然被广泛用来供给稳定的蒸汽流。由于配件的改进和烟道的加固，兰开夏锅炉到20世纪时还有相当的生命力。

除了由法国人塞甘（Seguin）和英国的斯蒂芬森公司（Stephensons）在1829年发明的多火管机车蒸汽锅炉以及小型立式锅炉，美国在发展具有重要意义的能满足高压需求的水管式锅炉方面要比欧洲快得多。1859年，费城的哈里森（J. Harrison）采用了自己设计的分节锅炉，里面装有几排用熟铁连接杆结合在一起的倾斜的中空铸铁球，不过却遇到了差异膨胀的问题。1865年，特威贝尔（J. Twibill）在英国取得了一项锅炉专利，这种锅炉里装有一些稍稍向水平面倾斜的熟铁直管，但是这些直管不能清理。1868年，贝德福德的霍华德父子（J. and F. Howard）在英国制造了第一台供出售的分节式水管锅炉，其中装有倾斜的熟铁管，压强高达每平方英寸140磅。

138

由美国的巴布科克（G. H. Babcock）和威尔科克斯（S. Wilcox）在1867年取得了专利的那种锅炉，证实了自然循环水管锅炉的优越性。它采用了便于清理的直管，这是对威尔科克斯和斯蒂尔曼（Stillman）在1856年设计的早期曲管锅炉的一项重大改进。在这些直管的每一端上都装有铸铁联管箱，并与上面的汽水包相连（图版8A）。在许多年内，这种成功的结构被采纳为标准的结构。1889年，美国的斯特

林（A. Stirling）采用了自己设计的改进型锅炉，其中装有一些倾斜度很大的管子，一直延伸到上面的三个圆筒形汽水包和下面的两个圆筒形泥垢包，水中的任何沉淀物都能沉积到泥垢包中去。19 世纪末期的一台典型的锅炉，每小时能产生 1.2 万磅压强为每平方英寸 160 磅的蒸汽。那时，水管锅炉已能成功地满足发电站对高速高压蒸汽的需求，并且在机械加煤机、进水加热器和过热器方面也取得了很大的进步。

6.6 蒸汽轮机

很早以前，蒸汽轮机就引起了发明家们的注意。到 1880 年，他们总共提出了大约 100 份关于蒸汽轮机的专利申请，但没有一份专利能够制造出满意的机器。早在 1784 年，冯・肯佩伦（Wolfgang von Kempelen）就提出了一种很有希望的汽轮机，足以使瓦特感到焦虑，因为它很可能会成为瓦特的蒸汽机的竞争对手。特里维西克也进行了试验，并在 1815 年制造了一台 15 英尺的“涡流式蒸汽机”。

1884 年，帕森斯（Charles A. Parsons）意识到迫切需要一种能直接驱动发电机的发动机，而传统蒸汽机的速度因其往复动作受到限制，于是成功地发明了一种蒸汽轮机。他在设计蒸汽轮机时参考了水轮机的工作原理，发现如果将总的蒸汽压强落降分为许多小级，并在每一级上都放置一个单元涡轮，那么这组涡轮中的每个单元涡轮都会像一台水轮机那样，具有 70%—80% 的效率。这样，整个汽轮机就能具有很高的效率，只需用适中的转速就可以达到最高的效率。对单级汽轮机来说，为了在一个级中实现全部的压力降，就需要用极高的转速。

因此，帕森斯与位于盖茨黑德的克拉克－查普曼公司（Clarke, Chapman & Company）一起制造了一系列小的单元涡轮，每个单元涡轮由一圈装在一根长轴上的叶片组成，长轴则在一个固定的圆形机壳

139 里面。机壳内侧装有一圈圈向内凸出的类似叶片，位于长轴上的叶片之间。装有叶片的长轴被称为转子，固定机壳（包括其叶片）被称为定子。具有锅炉压强的蒸汽进入定子的一端，沿着平行于汽轮机水平轴线的方向，在定子叶片和转子叶片之间流动，直至与大气压强持平排出时为止。这样，转子就被驱动了。

帕森斯最初想用他的汽轮机来驱动一台直耦式发电机，但由于当时发电机的最大速度仅为每分1200转左右，他不得不设计了一台新的高速直流发电机，它与汽轮机一样是具有革命性的。1884年，他获得了两项极其重要的专利，第6735号专利是“关于靠流体压力来驱动的可用作为泵的旋转马达的改进”，第6734号专利是高速发电机。同年，他制成了他的第一台直流涡轮发电机，如图版9A所示。它是非凝汽式的，以100伏特的电压发电7.5千瓦，并以每分1.8万转的惊人速度旋转。蒸汽由中心进入，等量分配地沿轴向流动，从而消除转子上的不平衡的轴向推力。

帕森斯的设计一经被证实切实可行，汽轮机便迅速发展起来，尽管在制造大型涡轮交流发电机方面还存在着许多有待解决的难题。1887年，帕森斯制造了一台具有高压级和低压级的两级反冲式汽轮机。1888年，他在一个公用发电站上安装了第一台由汽轮机驱动的发电机组，成为四台75千瓦、每分4800转的涡轮交流发电机中的第一台。这四台涡轮交流发电机是为纽卡斯尔的福思堤岸发电站（Forth Banks Power Station）和地区电灯公司（District Electric Lighting Company）制造的。

1889年，帕森斯离开了克拉克-查普曼公司，在泰恩河畔纽卡斯尔的希顿工厂里（Heaton Works）建立了他自己的公司——C. A. 帕森斯公司（C. A. Parsons & Company）。他为此失去了有关轴向流动的早期专利的使用权，不得不采用了径向流动方式。1891年，他为剑桥电灯公司（Cambridge Electric Lighting Company）制造了一台100千瓦、

每分 4800 转的径向流动式涡轮交流发电机。这是第一台凝汽式汽轮机（图版 9B）[1]，尤因（A. Ewing）进行的性能测试表明，它的蒸汽消耗量小于同样功率的蒸汽机。由于蒸汽轮机省燃料、占地少、可靠且振动小，被认定为可供发电站使用的最好的原动机。

1893 年，帕森斯根据协议规定重新获得了关于轴向流动方式的专利权，从此便致力于制造这种类型的汽轮机。于是，轴向流动式汽轮机取得了更大的进展。1900 年，他为德国的埃尔伯费尔德成功地安装了两台具有重要意义的 1000 千瓦汽轮交流发电机。它们是最早的串联汽缸式汽轮机组，而且体积非常大。

在 19 世纪的最后十年里，其他一些发明家也都热衷于设计各种类型的汽轮机，比较有名的包括瑞典的德·拉瓦尔（C. G. P. de Laval）、美国的柯蒂斯（C. G. Curtis）和法国的拉托（C. E. A. Rateau），他们都取得了成功。

1 这台机器和 1884 年制造的最早的蒸汽轮机，至今仍保存在南肯辛顿的科学博物馆里。

参考书目

Glark, D. K. 'The Steam Engine' (2 vols). London. 1891.

Dickinson, H. W. 'Short History of the Steam Engine.' University Press, Cambridge. 1939.

Idem. 'Water Supply of Greater London.' Newcomen Society, London. 1954.

Dickinson, H. W. and Titley, A. 'Richard Trevithick, the Engineer and the Man.' University Press, Cambridge. 1934.

Hutton, F. R. 'The Mechanical Engineering of Power Plants.' New York. 1897.

Lean, T. (and brother). 'Historical Statement of the... duty performed by the Steam Engines in Cornwall.' London. 1839.

Matschoss, C. 'Die Entwicklung der Dampfmaschine' (2 vols). Springer, Berlin. 1908.

Parsons, R. H. 'The Development of the Parsons Steam Turbine.' Constable, London. 1936.

Pole, W. 'Treatise on the Cornish Pumping Engine.' London. 1844.

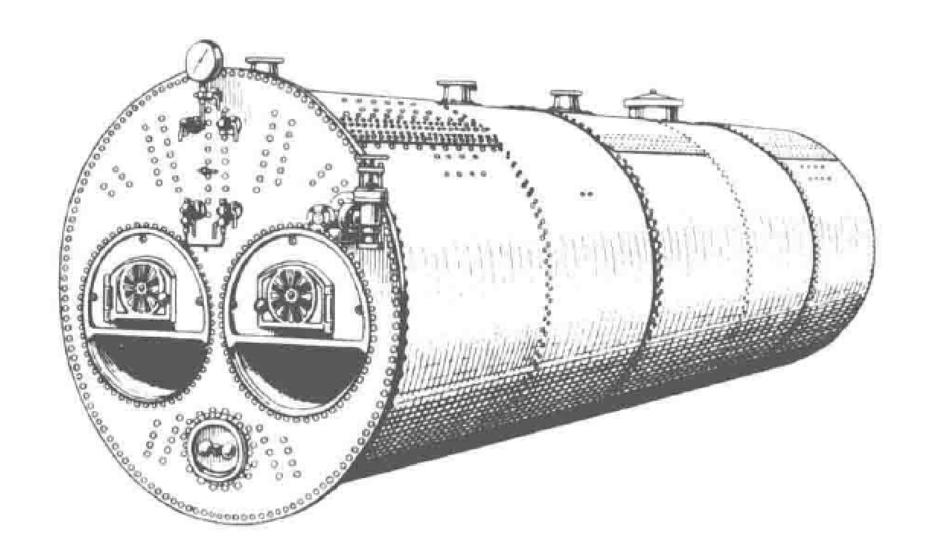
Rigg, A. 'A Practical Treatise on the Steam Engine.' London, 1878.

Westcott, G. F. 'Pumping Machinery' (2 vols). H. M. Stationery Office, London. 1932–3.

Idem. 'Mechanical and Electrical Engineering ; Classified List of Historical Events.' H. M. Stationery Office, London. 1955.

Wicksteed, T. 'An Experimental Enquiry concerning... Cornish and Boulton & Watt Pumping Engines.' London. 1841.

许多关于蒸汽机、锅炉和汽轮机的论文和报道已发表在 *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*(1818–) 和 the *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*(1847–)，以及 *The Engineer*(1856–) 与 *Engineering*(1866–)。



一台典型的兰开夏锅炉，1900 年。

第7章 船用蒸汽机

H. 菲利普·斯普拉特（H. PHILIP SPRATT）

关于桨轮船使用蒸汽推进的最早建议之一由帕潘（Denis Papin，1647—1714）在690年提出，内容包括活塞与齿条配合以获得旋转运动。1702年，萨弗里（Thomas Savery，1650—1715）在提到用蒸汽压力直接抽水的水泵时写道："可以使它对轮船非常有用，但我不敢插手此事。"不过，他显然认为这种水泵对船上的排水可能是有用的。

大约在1712年，纽科门（Thomas Newcomen，1663—1729）最早在陆地上把蒸汽动力应用到机械，这种机械靠大气压力来工作，并且只局限于活塞做上下运动。1736年，格洛斯特郡的赫尔斯（Jonathan Hulls，1699—1758）取得了一项关于用蒸汽推动的拖轮的专利，这种拖轮船尾的一个桨轮就是靠纽科门大气压蒸汽机来驱动的，上面装有一个棘轮装置，以获得旋转运动。但是，这个方案从来没有进行过实际的试验。相对于它们的功率来说，那时的蒸汽机显得太重了，不能期望有什么成功的结果。

7.1 桨轮

帕潘和赫尔斯都曾着眼于桨轮的使用，后来的大多数蒸汽船试制者也是对这种推进方式进行试验。桨轮的发明归功于罗马人（第Ⅱ卷，

边码 607)，最早提到桨轮的文字出现在可能是公元 370 年前后的一份手稿中，其中配有一幅战舰插图，船上有三对桨轮，每对桨轮由两头牛来驱动(第Ⅱ卷，图 549)[1]。据说，在 7 世纪前后，中国也已经使用人力驱动的桨轮战舰。

大约到中世纪末期，桨轮又重新出现了。例如，1335 年的一份手稿上(第Ⅱ卷，图 594)和 1472 年出版的由里米尼的瓦尔图里奥(Roberto Valturio)撰写的《论军事》(*De re militari*)都提到了桨轮，后者包含两条船的插图，其中一条船装有五对由联动曲轴联结的桨轮。大约在 1500 年，达·芬奇(Leonardo da Vinci，1452—1519)提出了各种实现桨轮推进的机械方案。在其中的一个方案里，两个踏板驱动一对桨轮，每个桨轮上装有两个叶片。1522 年前后的一幅中国木刻画上，绘有一艘装有两对桨轮、用牛皮来装甲的战舰。1578 年，讲述海军故事的英国作家伯恩(William Bourne，主要活动于 1565—1583)(第Ⅲ卷，第 20 章)提出了关于使用舷侧桨轮的方案。

142

1588 年，拉梅利(Ramelli)(第Ⅲ卷，边码 330)提出了另一个方案，建议制造一种两侧各有一个桨轮的平底船，配上一台用人力来转动的有柄绞车。1664 年及以后，有人曾建议用船载风车来驱动桨轮，并且据说 1682 年在查塔姆使用了一艘靠马拉绞车来驱动桨轮的拖轮。另一艘靠马力来驱动的桨轮船由鲁珀特亲王(Prince Rupert，1619—1682)制造，并在伦敦的泰晤士河上进行了试航。1732 年，德萨克斯(Maréchal de Saxe)建造了一艘同样的船，想用它在塞纳河上花 12 个小时从鲁昂逆流航行到巴黎。

7.2 试验用蒸汽推进器

第一艘靠蒸汽力量推动的船是佩里耶(J. C. Périer，1742—1818)于 1775 年在巴黎的塞纳河上用来试验的那艘船，它的蒸汽机汽缸的

1 存留至今、画有最古老战舰的这幅插图是晚近的复制品。

直径只有8英寸，而且功率不足。3年以后，茹弗鲁瓦侯爵（Marquis Claude de Jouffroy d'Abbans，1751—1832）在杜河上用“蹼足”形桨叶进行了几次试验，都没有成功。真正的成功是在1783年，侯爵的排水量为182吨的“火舟号”（*Pyroscaphe*）桨轮蒸汽船在里昂附近的索恩河上进行了逆流航行。

然而，船用蒸汽推进器的早期研制并不局限于欧洲。1785年，美国发明家菲奇（John Fitch，1743—1798）建议采用一种靠蒸汽来驱动的桨叶状浮子（paddle-float）循环链。后来，他又在一艘船上安装了12支竖桨，就像独木舟那样。大约在1796年，他把注意力转向了螺旋桨推进器，并在纽约的克莱克特湖（Collect Pond）用一条小船进行了试验，但实际上没有取得成功。1787年，美国的另一个先驱者拉姆齐（James Rumsey，1743—1792）在波托马克河上试验了一艘蒸汽船，它装有一台在船头抽水、在船尾强制排水的泵[1]。拉姆齐后来到了伦敦，并在1793年按照他的原理制造了一艘101吨的蒸汽船，在泰晤士河上进行了成功的试验。

与此同时，英国人米勒（Patrick Miller，1731—1815）用双壳船和三壳船进行了有关机械推进器的一些试验，也取得重大进展。这些船是人力驱动的桨轮船，用30个人来转动几个绞盘，可以维持4.3节的速度。在试验中，船员们很快筋疲力尽，这使米勒想到应该使用蒸汽动力。1788年，他的第一台大气压蒸汽机由赛明顿（William Symington，1763—1831）制造并装配到一条小船上，在苏格兰的达尔斯温顿湖（Dalswinton Lake）上试验成功。当时，诗人彭斯（Robert Burns，1759—1796）就在这条小船上。

1801年，赛明顿受英国军事国务大臣邓达斯（Henry Dundas，1742—1811）的委托，为一艘名叫“夏洛特·邓达斯号”（*Charlotte Dundas*）的拖轮安装了蒸汽机，在福斯湾和克莱德运河上进行了试

1　这是早期喷水式推进器的一个实例。

验。这艘船的性能令人满意，但运河的所有者认为桨轮所产生的涡流对堤岸是不利的。1802年，美国的先驱者富尔顿（Robert Fulton 1765—1815）参加了在“夏洛特·邓达斯号”上所做的试验。第二年，他在巴黎制造了自己的第一台实用蒸汽船，并在塞纳河上进行了试验。

7.3 桨轮蒸汽船

1807年，在纽约和奥尔巴尼之间的哈得孙河上，富尔顿的“克莱蒙号”（*Clermont*）桨轮蒸汽船取得了商业上的成功。这艘船所用的机器（图52）由伯明翰的博尔顿和瓦特公司（Boulton & Watt）制造。在欧洲，第一艘商用桨轮蒸汽船是“彗星号”（*Comet*），在1812年根据贝尔（Henry Bell）的订货合同制造，用于克莱德河的航运业务。它的低压蒸汽机（图53）由格拉斯哥的罗伯逊（John Robertson）制造，至今仍保存在伦敦的科学博物馆。俄国和德国的一些早期的蒸汽船，也是由英国的工程师们安装的。

1818年，航行在泰晤士河上的著名的“伦敦工程师号”（*London*

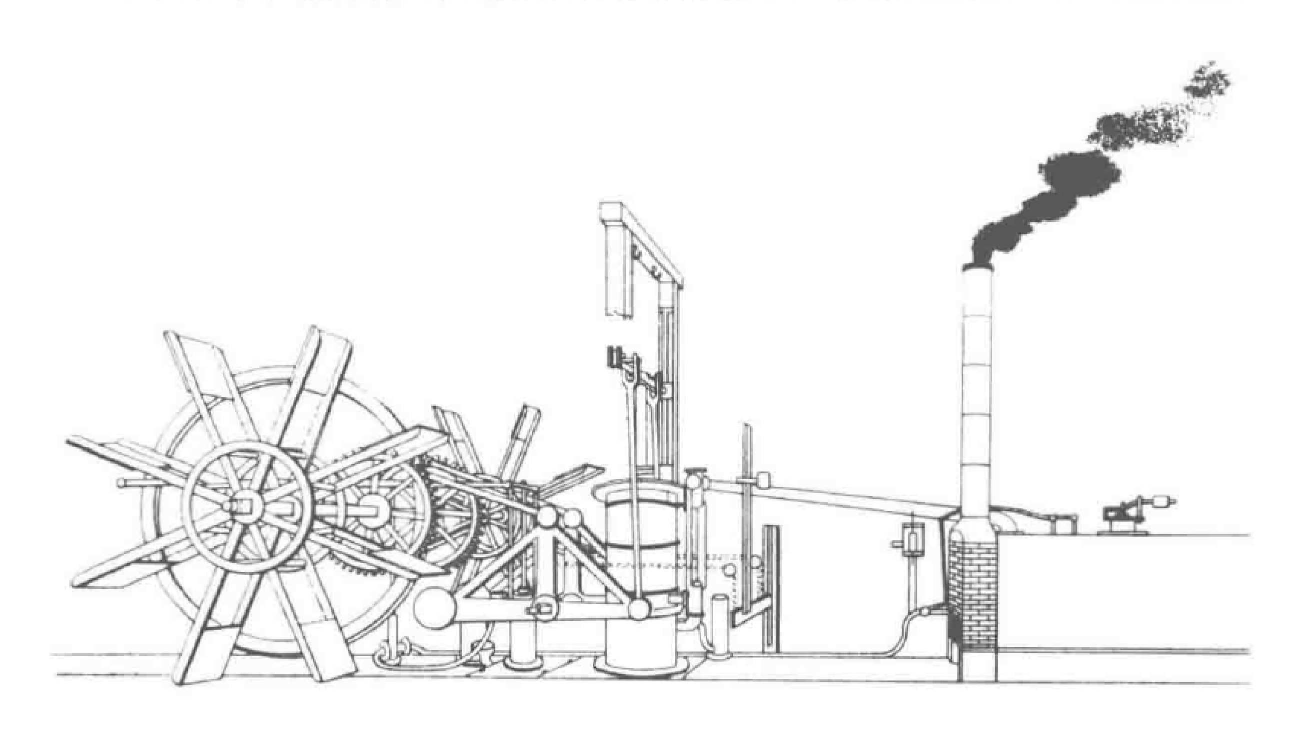


图52 “克莱蒙号”桨轮蒸汽船的机器构造，1807年。

Engineer）靠内置的桨轮来驱动。第一艘英国制造的蒸汽驱动的“升星号”（*Rising Star*，1821 年）私掠船具有类似的构造，把桨轮置于内部的目的是防备敌方的射击。这也是大西洋上由东向西航行的第一艘使用蒸汽动力的船。 144

第一艘由西向东横渡大西洋的蒸汽驱动轮船是 1819 年制造的著名的美国机帆船“萨凡纳号”（*Savannah*）。只有在风小到使船速减至 4 节的时候，它的低压蒸汽机才用来帮助展开船帆。其他时候，可拆卸的桨轮被折叠起来，脱离机轴，堆放在甲板上。

直到 1837 年前后，圆形桨轮一直是推进蒸汽船的唯一有效手段。最早的一些桨轮船上装有顶置横杆式蒸汽机，是由博尔顿和瓦特为陆上使用开发出来的。事实证明，它非常适合作为在美国哈得孙河和密西西比河航行的吃水浅的内河蒸汽船，但根本不适用于远洋航运。 145

在英国，一种以侧杆式蒸汽机闻名的改进型蒸汽机最为普遍地使用在海运上。位于蒸汽机两侧的两根杆取代了原来的顶置横杆，安装在下部靠近底座板的地方。这种蒸汽机改进了船的稳定性，节省了相当大的净空（图版 12A）。在大西洋和其他海洋航线上，大多数桨轮蒸汽船都装配了侧杆式蒸汽机。这种蒸汽机在 1861 年制造的“斯科舍号”（*Scotia*）船上发展到了顶峰，那是丘纳德航运公司（Cunard Line）的最后一艘桨轮驱动船。

为了设计一种不那么笨拙的机件布置方式，人们进行了各种尝试。1837 年，在英国皇家军舰“戈耳戈号”（*Gorgon*）上，莱姆豪斯（Limehouse）的西沃德和卡佩尔公司（Seaward & Capel）安装了第一台直接作用的立式船用蒸汽机。但是，鉴于船舱底部与桨轮轴之间的垂直距离很有限，不得不勉强地把连杆缩短。为弥补这种缺陷，西沃德和卡佩尔公司在 1839 年引进了一种改进型的直接作用式蒸汽机。它的汽缸在顶部开口，连杆直接在筒状活塞的上表面处连接。这样，通过取消活塞杆，连杆达到了必要的长度。

船用“尖塔”式蒸汽机在1831年前后引入，以一种不同的方式克服了因船底和桨轮轴之间的垂直距离不足而产生的困难。在这种方式中，曲轴靠一种在上方一个十字头处向下折返的连杆来驱动，这个十字头的导承伸出甲板上方。正是因为这样的外形，它被称为“尖塔”式蒸汽机（图版12B）。

由莫兹利（Joseph Maudslay，1801—1861）和菲尔德（Joshua Field，1787—1863）在1839年取得专利的一种蒸汽机具有两根活塞杆，装在曲轴的同一侧。由于对称性不好，两个行程的配气时间相差非常大。由内皮尔（David Napier，1790—1869）在1842年取得专利的另一种蒸汽机被普遍应用于内河蒸汽船上，它有四根汽缸轴线和曲轴轴线呈对称的活塞杆。

由莫兹利和菲尔德在1839年取得专利的双联汽缸或称“暹罗双胎”式蒸汽机，也能在有限的高度内采用长连杆。这种双联汽缸的两根活塞杆都与一个双十字头相连，双十字头的垂直尾部下伸在两个汽缸之间，并与连杆的下端相连，两个汽缸置于曲轴的前后。这种布置减小了船舱的空间，由于有两个汽缸而不是一个，对每根曲轴来说，成本便增加了。另一种每个单元只包含一个汽缸的改进型就是环形蒸汽机，由莫兹利在1841年取得专利。这种蒸汽机的活塞是环形的，并且有着两根紧连在一个双十字头上的杆。这个十字头的尾部下伸到汽缸的中心孔中，下端带动着连杆。

146

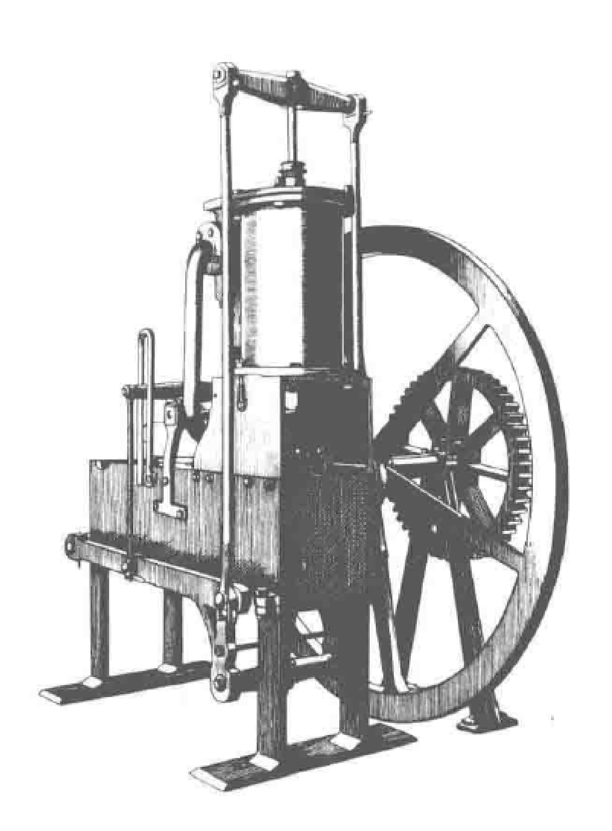


图53 “彗星号”桨轮蒸汽船的蒸汽机，1812年。

后来使用得最广泛的一种桨轮蒸汽机是振荡式蒸汽机（oscillating engine），活塞杆直接与曲轴相连，连杆被取消了。默多克（William Murdock，1754—1839）早在1785年就提出了这种蒸汽机，并于1822年应用在第一艘铁制的桨轮蒸汽船"艾伦·曼比号"（*Aaron Manby*）上。1827年，莫兹利采用了这种布置方式，取得了这种结构的专利，并为振荡式汽缸提供了一种有效的阀动装置。莫兹利父子和菲尔德公司（Maudslay，Sons & Field）用振荡式蒸汽机装备的第一艘船是泰晤士河蒸汽船"奋进号"（*Endeavour*）（1828年）。但是，直到格林威治的佩恩（John Penn，1805—1878）经过改进再次引入这种结构以后，振荡式蒸汽机才成为桨轮船上受欢迎的一种蒸汽机。

最大的船用振荡式蒸汽机是1858年为著名的桨轮和螺旋桨蒸汽船"大东方号"（*Great Eastern*）（图版13A，边码361—365）制造的。它共有4个直径为74英寸、行程为14英尺的汽缸，当转速为每分10.75转时，总功率为3410指示马力。桨轮的直径为56英尺。当螺旋桨和桨轮同时运转时，船的计算速度为15节。在单独用桨轮推进器进行专门的试验时，速度为7.25节。

随着所用的蒸汽压力的增高，不适合采用复胀式的振荡式蒸汽机就被斜置的直接作用式蒸汽机取代了。1822年，布律内尔（Marc Isambard Brunel，1769—1849）首先获得了关于斜置的直接作用式蒸汽机的专利。1888年，这种类型的蒸汽机装在了横渡英吉利海峡的"亨丽埃特公主号"（*Princesse Henriette*）桨轮船（图版13B）上，著名的蒸汽游船"阿伦岛号"（*Isle of Arran*）也在1892年安装了它。

7.4 螺旋桨推进器

阿基米德螺旋已有2000多年历史了，但把它运用到船用推进器上则是很晚的事。数学家丹尼尔·伯努利（Daniel Bernoulli，1700—

1782）在1753年就建议采用螺旋推进器，瓦特（James Watt，1736—1819）在1770年也提出过此项建议。1775年，米勒（Samuel Miller）取得了第一个关于螺旋桨推进器的英国专利。在纽约，菲奇和史蒂文斯（John Stevens，1749—1838）分别在1796年和1802年进行了最早的一些试验，但没有取得多大的成功。

147

1837年，米德尔塞克斯郡亨登的史密斯（Francis Pettit Smith，1808—1874）用他的第一艘螺旋桨蒸汽艇进行了试验。它的螺旋桨是木制的，在其中的一次试验中，约有一半螺旋桨被损毁。出乎意料的是，这个事故大大提高了船的速度。这些试验的成功导致237吨的螺旋桨蒸汽船"阿基米德号"（*Archimedes*）在1838年被制造出来，进而激励英国海军部委托制造了"响尾蛇号"（*Rattler*）军舰（1843年），这是第一艘装有螺旋桨的海军军舰。

由于螺旋桨推进器比桨轮更方便且更有效率，它的实用性证实后被广泛采用了。但是，由于螺旋桨需要比当时的低速桨轮蒸汽机的转数更高的旋转速度，最早的螺旋桨蒸汽船上使用了带有增速装置的蒸汽机，通过钢索、短环链或齿轮以获得所要增加的速度。这种装置（图版14A）在1843年安装到了"大不列颠号"（*Great Britain*）船上，这是第一艘横渡大西洋的螺旋桨蒸汽船，堪称使用短环链传动的范例。在商船航运中，装有各种形式增速装置的蒸汽机一直使用了十多年。

为了防御敌人的进攻，军舰需要将机械布置在水线下面，这种需要迅速促进了专用螺旋桨蒸汽机的出现。第一个实例是美国的"普林斯顿号"（*Princeton*）军舰（1842年），装有由埃里克森（John Ericsson，1803—1889）获得专利的摆动式或称钟摆式蒸汽机（vibrating or pendulum engine）。这种蒸汽机的蒸汽室是扇形的，矩形的活塞就像门在合页上摆动那样在轴承上摆动。轴承一直延伸到蒸汽室外面，支承着靠一些杆连接到曲轴上的振荡曲柄。埃里克森采用这种结构的

原因，看来是他毫无根据地担心普通形式的活塞不能适应所需增加的速度，这种担心在当时是很普遍的。

大约在1845年，为了适应螺旋桨推进器的要求，莫兹利父子和菲尔德公司提出了一种“暹罗双胎”式双联汽缸蒸汽机（边码146）的改进型方案，但这种改进型不是很受欢迎。在早期的一些螺旋桨军舰上，也曾采用过毕晓普（Bishopp）的圆盘式蒸汽机。1836年，伦尼父子（J. and G. Rennie）最先取得了这种蒸汽机的专利，后来应用到船用推进器，并在“明克斯号”（*Minx*）英国皇家军舰上获得了成功（1849年）。

但是，对于普通形式的活塞来说，由于受到船上横向的可用空间的限制，要想安装水平的活塞杆和连杆十分困难，这就导致了“回转连杆”（return connecting-rod）式蒸汽机的出现。1844年，这种类型的蒸汽机被安装在英国皇家军舰“安菲翁号”（*Amphion*）上，并且在皇家海军中一直被大量使用到1876年前后。那一年，伦尼父子在非装甲的“包迪西亚号”（*Boadicea*）和“酒神女祭司号”（*Bacchante*）小型护卫舰上安装了复胀式蒸汽机，它有3个汽缸，工作时的蒸汽压强为每平方英寸70磅。

148

另一种节省横向空间的方法，被广泛采用，它是在筒状活塞蒸汽机上完全取消活塞杆，连杆被直接连接到活塞，活塞被做成环状，其上装有一个圆筒。1784年，瓦特早已取得了关于这种蒸汽机的专利，但隔了很久以后，它才在1854年被蒸汽船“坎迪亚号”（*Candia*）使用。1861年，英国皇家军舰“勇士号”（*Warrior*）安装了佩恩在1845年获得专利的双筒活塞式蒸汽机，它因是第一艘铁制装甲军舰而著名。1868年，英国皇家军舰“弥诺陶洛斯号”（*Minotaur*）和“诺森伯兰郡号”（*Northumberland*）也安装了这种蒸汽机（图版14B）。筒状活塞蒸汽机的缺点是筒状活塞会引起热量损失，摩擦比较大，活塞比较重，难以伸进手去进行检修以及所用汽缸的

尺寸较大等。

1848 年，十字头和曲轴之间是一根简单连杆的普通卧式直接作用式螺旋桨蒸汽机，首先在皇家海军的“埃阿斯号”(*Ajax*)军舰上使用。这种军舰的结构简单，存在一些不足，需要缩短连杆，所以适合安装卧式螺旋桨蒸汽机。主要是缺乏足够的横向空间而引起的。但是，对“大东方号”来说，由于它的宽度特别大，能方便地安装卧式直接作用式螺旋桨蒸汽机(图版 15A)。这些蒸汽机由詹姆斯·瓦特公司(James Watt & Company)制造，指示功率为 4890 马力。

这种蒸汽机上有 4 个汽缸，每个汽缸的直径为 84 英寸，行程为 48 英寸。这些汽缸驱动两根在轴上互成直角的曲柄，轴的平均速度为每分 38.8 转。每个汽缸上有两根活塞杆和一个在导轨中移动的十字头，从每台右舷蒸汽机的十字头伸出一根连杆连接到一个曲柄销，从每台左舷蒸汽机的十字头则伸出两根连杆，所以每个曲柄上连有三根连杆。

这些螺旋桨蒸汽机由 6 台蒸汽压力为每平方英寸 25 磅的矩形或箱式双头管式锅炉供汽，每台锅炉长达 18.5 英尺、宽达 17.5 英尺、高达 14 英尺，总共有 72 个炉膛和 5000 平方英尺的加热表面。推进器是一个有 4 片叶片的铸铁螺旋桨，直径为 24 英尺，螺距为 44 英尺，重达 36 吨。

往复式螺旋桨蒸汽机的最终形式是倒置直立式的，大约从 1860 年起成了商船普遍使用的发动机。由于在船上占用的横向空间较小，可以在双螺旋桨船上使用两套并列的蒸汽机。在采用了船侧装甲以后，还可以把它用到战船上。最早的一些类型采用了单胀式，随着蒸汽压力的增加，人们发现从热力学角度来看，让蒸汽相继地在两个或更多的汽缸内进行膨胀是有利的。蒸汽船“布兰登号”(*Brandon*)是第一艘安装了复胀式蒸汽机的远洋轮船，它是由埃尔德(John Elder)于 1854 年在克莱德河上安装的。1869 年，英国国立航运公司(National

149

Line）的“荷兰号”（*Holland*），则是第一艘航行在大西洋上的装有复胀式蒸汽机的蒸汽船。

1871 年，诺尔芒（Benjamin Normand）在法国获得了关于三级膨胀式蒸汽机的专利，并在两年以后安装使用了这种蒸汽机。1874 年，在 2083 吨的蒸汽船“普罗庞蒂斯号”（*Propontis*）上，约翰·埃尔德公司（John Elder & Company）的柯克（A. C. Kirk）安装了第一批英国的三级膨胀式蒸汽机。这艘船的锅炉能产生每平方英寸 150 磅的蒸汽压强，与 1885 年制造的装有三级膨胀式蒸汽机的蒸汽船“弗兰伯勒号”（*Flamboro*）的锅炉一样（图版 15B）。大约到 19 世纪末期，随着蒸汽压强超过了每平方英寸 180 磅，为了更经济地利用燃料，采用四级膨胀式蒸汽机就变得很有必要了。

7.5 船用蒸汽轮机

大约在公元 50 年，亚历山大的希罗（Hero of Alexardria）以他的汽转球（aeolipile）实现了直接由蒸汽压力来获得旋转运动的想法。洛雷托的建筑师布兰卡（Giovanni Branca，1571—1640）提出了一个更为成熟的蒸汽轮机方案，并在 1629 年发表了关于这种机器的说明（第Ⅳ卷，边码 168）。按照他的方案，水在一个密闭的容器内被加热，蒸汽通过一根管子将冲击效果作用在轮缘上的一些径向叶片上，轮子安装在一根垂直轴上，轮的下端装有一个小齿轮。但是，没有任何记载说明布兰卡曾经考虑过船的推进问题。

1802 年，在一艘 25 英尺的平底船的尾部，美国著名的蒸汽船开拓者、纽约州霍博肯的史蒂文斯安装了一个螺旋桨推进器，直接连接在一台小型旋转蒸汽机上，避免了往复式活塞的“有害的”惯性效应。这是一个直径约为 8 英寸、长度约为 4 英寸的黄铜制圆筒形腔室（安装在螺旋桨轴上），其内设有一个形状简单的双叶片叶轮。通过使用这种小船，史蒂文斯获得了每小时 4 英里的速度。

大约在同一时间，另一位蒸汽船开拓者、费城的磨粉厂设计师埃文斯（Oliver Evans，1755—1819）使用一个汽转球，进行了同样基于希罗原理的实验，蒸汽压强为每平方英寸56磅，机器转速为每分700—1000转。用这位发明者自己的话来说，它可以提供“两人以上的力量”。1815年，康沃尔的发明家特里维西克（Richard Trevithick，1771—1833）获得了一项关于汽转球或称“反冲式”蒸汽轮机的专利，工作原理与希罗原理相同，打算用于船舶推进。

根据布兰卡的冲击原理，蒙茅斯郡纽波特的两位合作者科德斯（James Jamieson Cordes）和洛克（Edward Locke）制成了一种实际的蒸汽轮机。1846年，他们在罗瑟海斯（Rotherhithe）的萨里港区（Surrey Docks）制造了一台实验用的小型旋转机器，试验时达到了32制动马力。他们的船用蒸汽轮机方案也是在这一年提出的，可以用一个逼真的模型（图54）详细地表示出来。这个模型显示了一个直径为

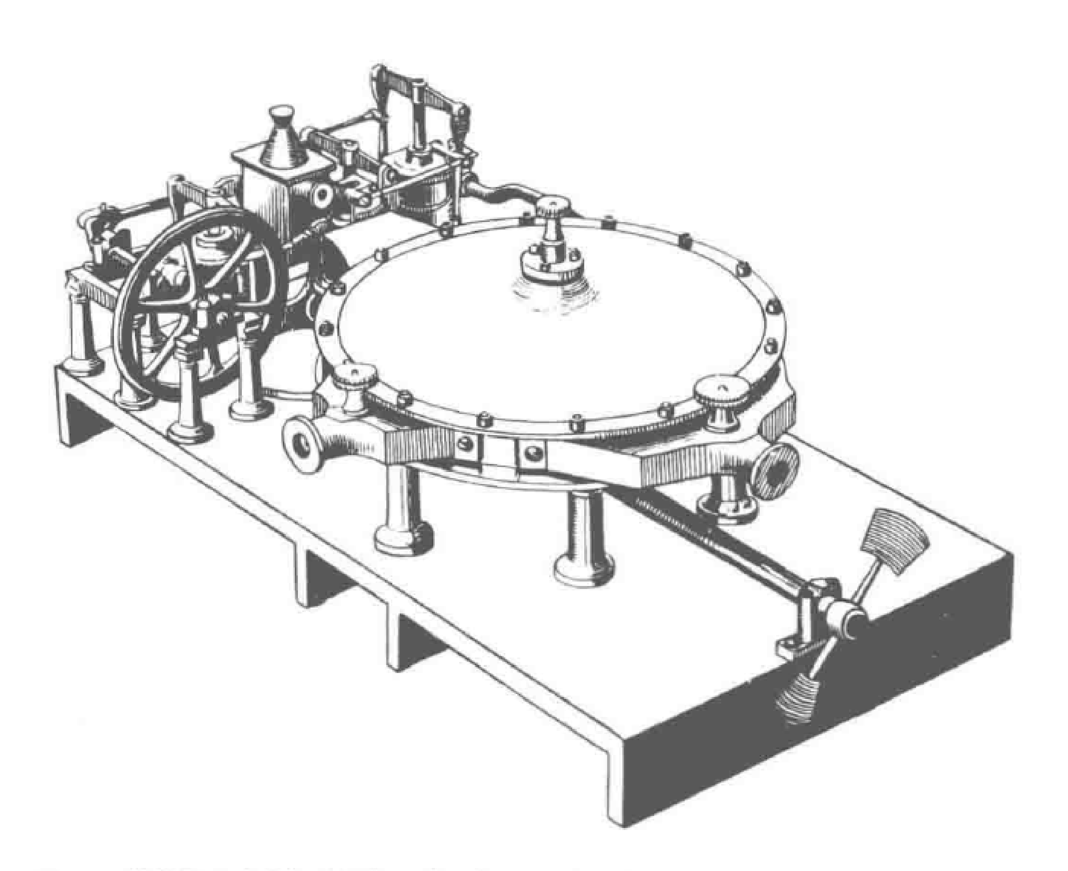


图54　科德斯和洛克提出的船用蒸汽轮机，1846年。

19 英尺的转子，预计能以每分 300 转的转速产生 150 制动马力。

科德斯和洛克的汽轮机实验的实质性成功，无疑增强了他们将它应用于船舶推进的信心。可是，没有任何记载表明他们把这种汽轮机安装到了船上。许多年以后，在 1892 年，斯德哥尔摩的拉瓦尔（Carl Gustav de Laval，1845—1931）建议把一台 15 马力的小型蒸汽轮机安装到一艘实验用汽艇上。据记载，这种汽轮机确实被制造过，但没有证据表明有人曾把它安装到船上并在水上进行了试验。

蒸汽轮机的成功开发及其在船舶推进上的应用，显然应当归功于帕森斯（Lord Charles Parsons，1854—1931）。1894 年，他制造并试验了一个 6 英尺的实验用模型船体，以便确定驱动排水量为 44.5 吨的"透平尼亚号"（*Turbinia*）船需要多大功率。第一台在这艘船上进行试验的机器由一台径流式蒸汽轮机（图 55）组成，用来驱动一根螺旋桨轴。1894 年 11 月，帕森斯用这台蒸汽轮机进行了试验，结果并不令人满意，螺旋桨在几经改型后所达到的最大速度是 19.75 节。由于所谓"空泡"现象的存在，螺旋桨在水中造成了一些空泡，难以保持船只以期望速度驶行时所必需的推力，补救的办法是增大螺旋桨的表面积。

1896 年，一种三轴装置取代了径流式蒸汽轮机。在这种装置中，每一台帕森斯轴流式蒸汽轮机与每一根轴直接连接，每一根轴则带动着三个螺旋桨推进器。三台蒸汽轮机是串联的，来自锅炉的蒸汽先通入右舷的高压蒸汽轮机，然后流经左舷的中压蒸汽轮机，接着再流入位于中央的低压蒸汽轮机，释放完能量的蒸汽最后被排放到凝汽器中。在中央轴上，还有一台单独的蒸汽轮机用来驱动轮船后退。

蒸汽是由压强为每平方英寸 210 磅的双头亚罗型（Yarrow）水管式锅炉供给的，蒸汽压强在蒸汽轮机的入口处降到了每平方英寸 155 磅左右，三台蒸汽轮机总共能产生大约 2000 轴马力。在经过这样的

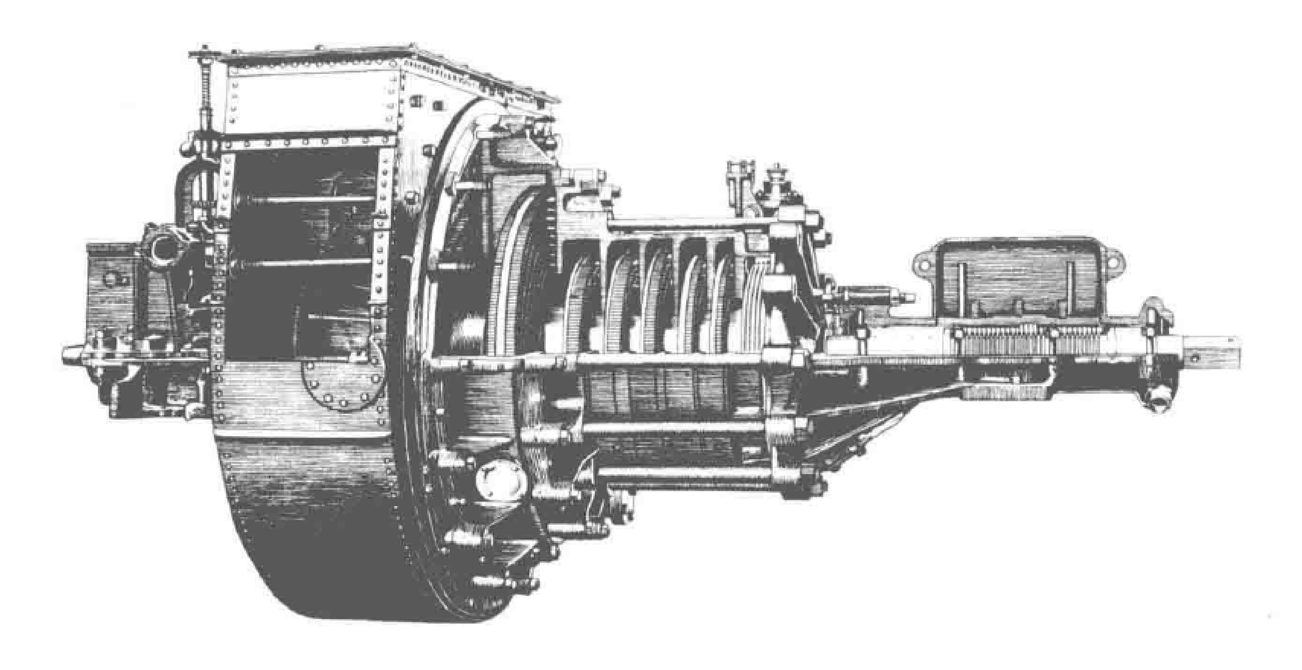


图 55 “透平尼亚号”的径流式蒸汽轮机，1894 年。

改进以后，“透平尼亚号”成为第一艘使用蒸汽轮机来推进的轮船。1897 年，它出现在斯皮特黑德海峡海军大检阅上（见章末插图）。以从未达到过的 34.5 节速度疾驰，观看者们都震惊了。

在这些实验性船舶的应用中，最初的蒸汽轮机与螺旋桨轴直接连接。但是，为了达到最高的效率，后来的蒸汽轮机必须以远高于螺旋桨所能适应的速度运转。因此，在汽轮机和螺旋桨之间采用了齿轮减速装置。第一艘具有齿轮减速装置的蒸汽轮机船是一艘小型双螺旋桨汽艇，在 1897 年由沃尔森德的帕森斯船用蒸汽轮机公司（Parsons Marine Steam Turbine Company）安装。那台 10 马力的蒸汽轮机以每分 2 万转的转速运行，通过单头螺旋直齿轮以 14∶1 的减速比与两根推进器轴相连，后者以每分 1400 转的速度转动。

152

对于速度头等重要的军舰和需要快速航行的商用蒸汽船来说，可以使用装有一级减速装置的直径相当小的螺旋桨推进器。这种快速转动的传动装置的机械效率大约为 98.5%。对于螺旋桨转速低于每分 100 转的慢速商船来说，则可以采用带两级减速装置的蒸汽轮机。在这种结构中，蒸汽轮机轴上的一些人字小齿轮与安装在一根空转轴上

的一个人字大齿轮啮合，空转轴还带动着另外一对小齿轮，这些小齿轮又转而与螺旋桨轴上的第二个大齿轮啮合。

7.6 船用锅炉

在船用蒸汽推进器的实验阶段，几乎唯一可用的锅炉就是瓦特在1780年发明的那种陆地上使用的锅炉，它是一个从外部加热的具有半圆筒状顶部和凹面底部的水箱。美国的先驱者显然已经发现这种锅炉不适宜船用，于是由菲奇和拉姆齐发明了"管式"锅炉，也就是后者于1787年在波托马克河上使用的那一种。1803年，富尔顿在塞纳河上进行他的第一次蒸汽船试验时，使用了另一种早期形式的水管锅炉。

但是，桨轮蒸汽船"彗星号"(边码143)在1812年采用了一种结构简单的陆用锅炉，用砖砌成，从外部进行加热。后来，这种锅炉经过改进，增加了一个内部的燃烧箱，并在1820年前后发展成了具有表面平整的烟道和炉膛的船用"箱式"锅炉，能在船上可供使用的有限空间内增加蒸发面积，适于用来供给当时所用的每平方英寸5磅左右的低压蒸汽。

因为所用的水是海水，所以必须经常放尽锅炉中的水，以避免盐的沉积。锅炉有时用铜来制作，因为人们已经发现铜的抗腐蚀性比铁要好。但是，霍尔(Samuel Hall，1781—1863)在1834年发明的表面凝汽器能给锅炉提供纯蒸馏水，这样，锅炉便能连续地工作。最早安装这种锅炉的大西洋航线上的蒸汽船是"天狼星号"(*Sirius*)，它在1838年以持续稳定的蒸汽动力成为横渡大西洋的第一艘船。

153

大约在1835年以后出现的另一项重大的进展，是用火管来取代"箱式"锅炉的表面平整的烟道，这种火管当时已经在陆地上用于蒸汽机车(第15章)。最杰出的船用火管锅炉的提倡者之一是科克伦(Thomas Cochrane，1775—1860)海军上将，他在英国皇家军舰"杰

纳斯号”(*Janus*)上安装了这种锅炉，这是1844年的事情。但是，多管箱式锅炉根本不适于用来产生约每平方英寸35磅以上的蒸汽压强。在1876年英国皇家军舰“雷神号”(*Thunderer*)发生灾难性爆炸后不久，这种结构的锅炉便停止制造了。

与此同时，为了采用复胀式蒸汽机以使锅炉压强高于每平方英寸60磅，必须要有圆筒形的壳体和烟道，从而导致了老式箱式锅炉的最终消失和1862年“苏格兰人”(Scotch)船用锅炉(图56)的引入。这种锅炉具有圆筒形的壳体、炉膛和内部的火管，大约从1870年起，军舰和商船普遍采用。

154

船用水管锅炉由佩恩在1842年前后引进，并用在泰晤士河上一些小型桨轮船上。这一发展的另一位开拓者是罗恩(J. M. Rowan)。1857年，他在蒸汽船“西蒂斯号”(*Thetis*)上安装了蒸汽压强为每平方英寸115磅的水管锅炉，这样的压强在当时很不平常。这些锅炉中的铁管会迅速腐蚀，有待于使用低碳钢进行改进。1878年，珀金斯(Loftus Perkins)在蒸汽快艇“无烟煤号”(*Anthracite*)上安装了一种压

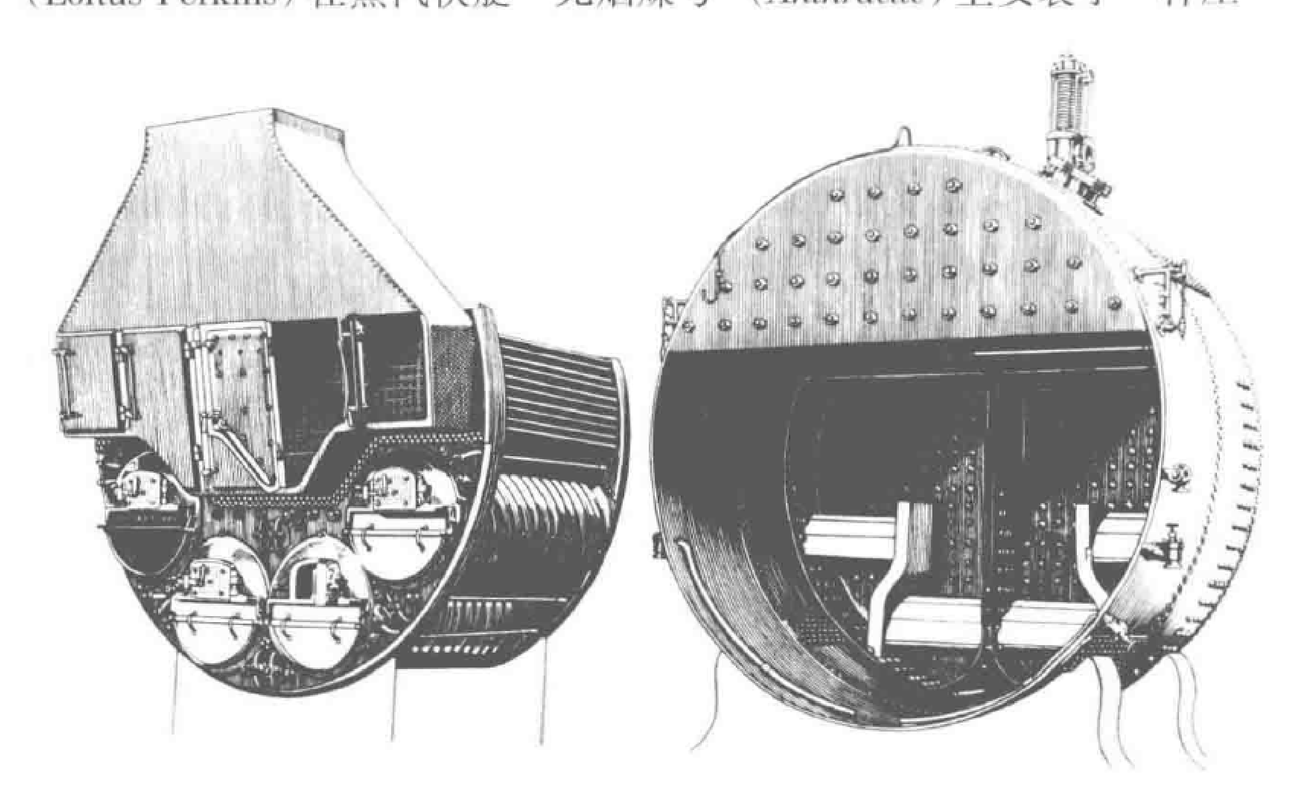


图56 “苏格兰人”船用锅炉，1890年。

强为每平方英寸500磅的具有水平水管的管式锅炉。

在法国，由贝尔维尔（Julien Belleville）开发的水管锅炉最初使用了垂直的铁制盘管，但这种结构被1856年进行的试验证明并不成功。1872年起，采用了斜置的管子。1893年，英国皇家海军的“神枪手号”（*Sharpshooter*）采用了经过改进的贝尔维尔锅炉。后来，这种锅炉在皇家海军巡洋舰“强力号”（*Powerful*）和“猛烈号”（*Terrible*）上使用时，压强达到每平方英寸250磅。但是，由于在使用中遇到了一些困难，1901年以后就没有再多的船舶使用这种锅炉了。

英国皇家海军使用的第一台水管锅炉是装有小直径管子的桑尼克罗夫特（Thornycroft）型锅炉。1886年，在一艘二级鱼雷快艇上安装了这种锅炉。1892年，这种下部带有两只排水吊桶的锅炉在英国皇家军舰“快捷号”（*Speedy*）上试用，压强为每平方英寸200磅。它装有外径为1.25英寸的弯水管，水管的端部靠滚柱式扩管器固定到排水吊桶和上部的蒸汽包上。1889年，亚罗（Alfred Yarrow）获得了关于另一种小管锅炉的专利，最初用在小型军舰上，后来也用在商船上。在一段时间里，皇家海军的鱼雷快艇也使用过里德（Reed）型锅炉，它的上部有一个蒸汽包，下部平展部分有两个排水吊桶。

法国海军所用的尼克劳斯型（Niclausse）锅炉是一种双水管锅炉，在原理上与1862年取得专利的菲尔德管（Field tube）类似。1878年，科利特（A. Collet）取得了改进型水管锅炉的专利，但它的成功实用应归功于巴黎的尼克劳斯（J. and A. Niclausse）父子。后来，这种锅炉在英国皇家军舰“新西兰号”（*New Zealand*）上试用。1889年，美国海军采用了巴布科克和威尔科克斯（Babcock & Wilcox）型锅炉（图57）。后来，在英国皇家军舰“麻鸭号”（*Sheldrake*）上对这种锅炉进行了大量的试验。它的斜置水管的端部胀接到弯曲形或波浪形的垂直管座上，

使得这些水管可以相对地横向移动，从而能更好地吸收热量。大约在19世纪末期，蒸汽压强约为每平方英寸250磅的巴布科克和威尔科克斯型锅炉，成了皇家海军所用的少数几种标准形式的锅炉中的一种。

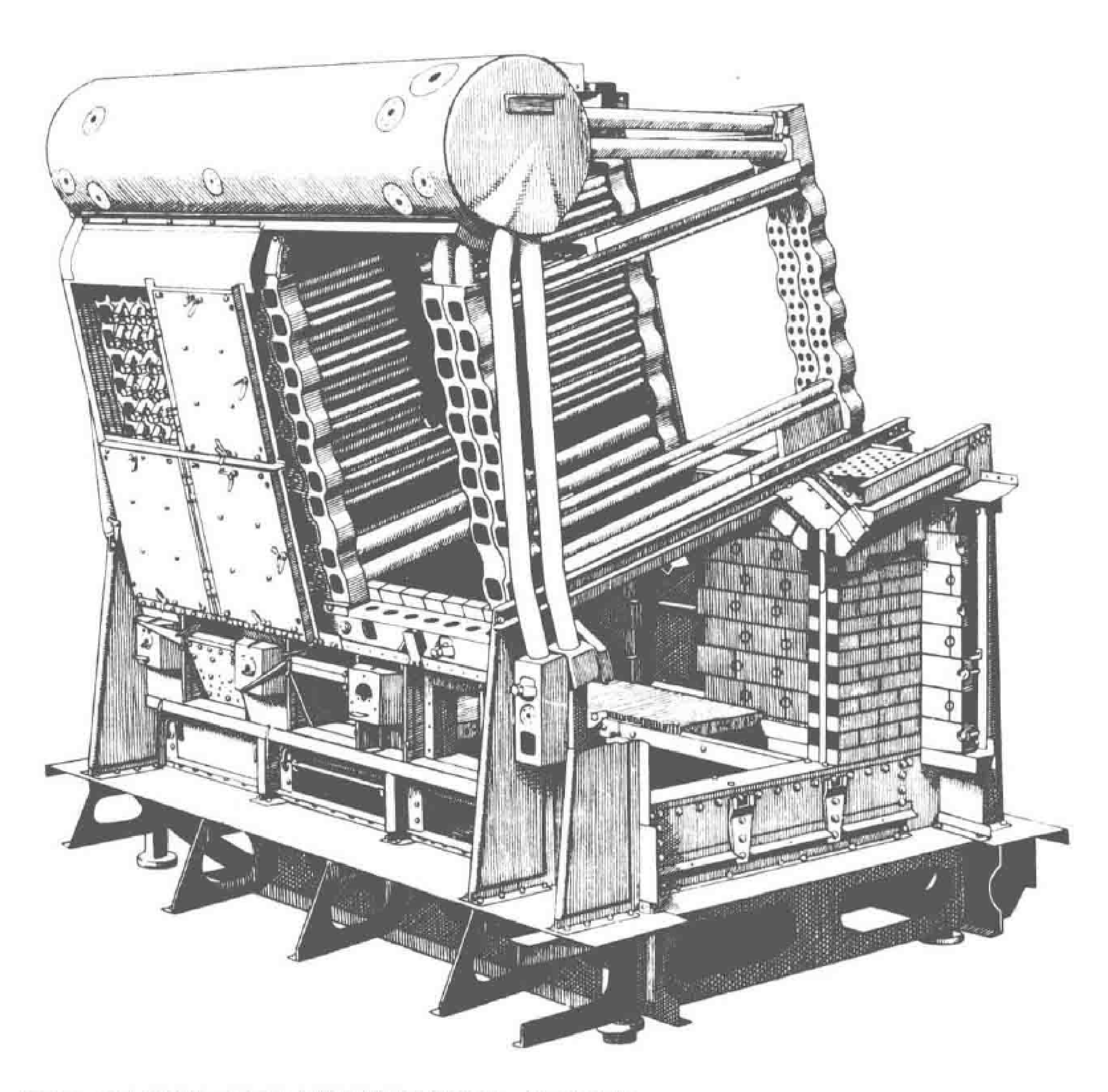


图57 巴布科克和威尔科克斯型船用水管锅炉，约1900年。

参考书目

Appleyard, R. 'Charles Parsons: His Life and Work.' Constable, London. 1933.

Bertin, L. E. and Robertson, L. S. 'Marine Boilers.' Murray, London. 1906.

Biles, J. H. 'The Steam Turbine as applied to Marine Purposes.' Griffin, London. 1906.

Bourne, J. 'Practical Treatise on Steam Navigation and the Screw Propeller.' London. 1856.

Drover, F. J. 'Coal and Oil Fired Boilers.' Chapman & Hall, London. 1924.

Ferris, C. R. 'Steam Propulsion Developments.' Birchall, Liverpool. 1933.

Fincham, J. 'History of Naval Architecture.' London. 1851.

Galloway, E. 'History and Progress of the Steam Engine.' London. 1833.

Main, T. J. and Brown, T. 'The Marine Steam-Engine.' London. 1865.

Murray, R. 'Treatise on Marine Engines and Steam Vessels' (4th ed. , rev. by E. Nugent). London. 1868.

Nystrom, J. W. 'Treatise on Screw Propellers and their Steam-Engines.' London. 1861.

Otway, R. 'Elementary Treatise on Steam Navigation.' Plymouth. 1837.

Powles, H. H. P. 'Steam Boilers, their History and Development.' Constable, London. 1905.

Pull, E. 'Modern Steam Boilers.' Benn, London. 1928.

Reed, S. J. 'Turbines Applied to Marine Propulsion.' Constable, London. 1913.

Richardson, A. 'The Evolution of the Parsons Steam Turbine.' Offices of *Engineering*, London. 1911.

156

Russell, J. S. 'Treatise on the Steam Engine.' Edinburgh. 1846.

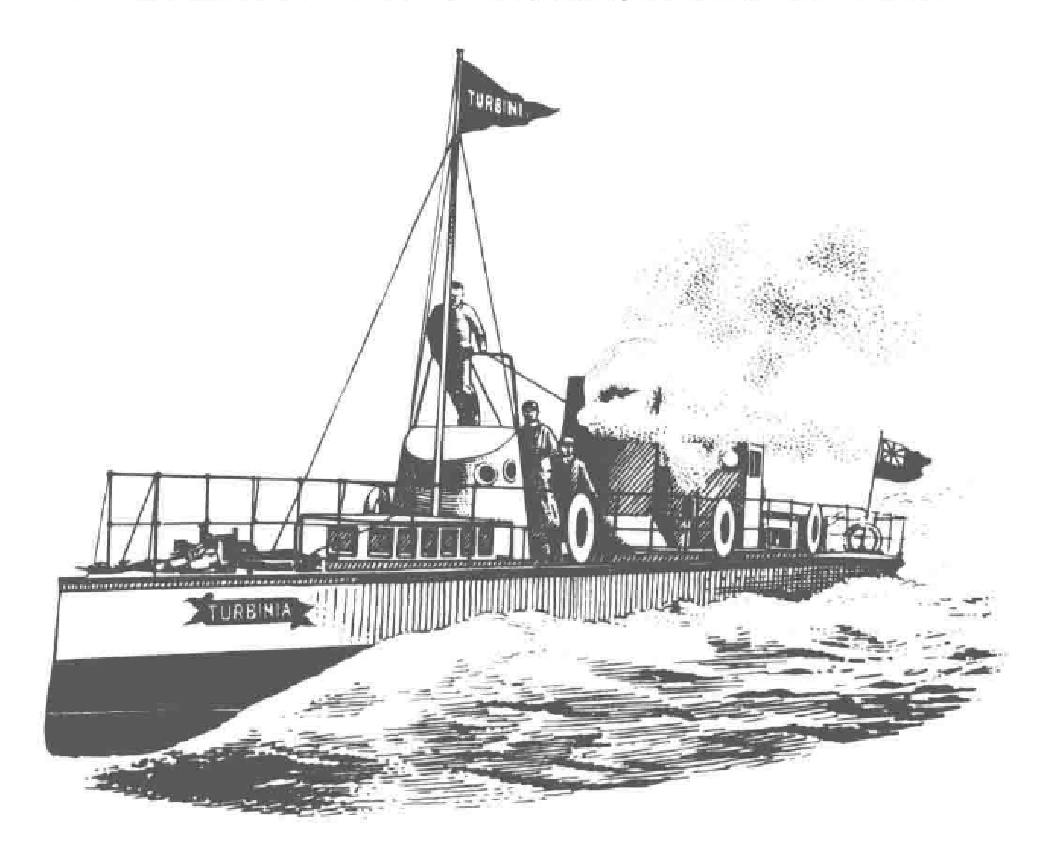
Science Museum Library, London, MS 'The Field Papers' (1811–72), Vol. 1: 'Ships, Marine Engines, etc.' by J. Field.

Seaton, A. E. 'Manual of Marine Engineering' (20th ed.). Griffin, London. 1928.

Sennett, R. and Oram, H. J. 'The Marine Steam Engine.' Longmans, Green, London. 1917.

Smith, E. C. 'Short History of Naval and Marine Engineering.' University Press, Cambridge. 1938.

Sothern, J. W. M. 'The Marine Steam Turbine' (7th ed.). Crosby Lockwood, London. 1932.



航行中的“透平尼亚号”，1897年。

Spratt, H. P. 'Transatlantic Paddle Steamers.' Brown, Son & Ferguson, Glasgow. 1951.
Taylor, D. W. 'Resistance of Ships and Screw Propulsion.' Macmillan, New York. 1907.
Thames Ironworks and Shipbuilding Company. 'Historical Catalogue.' London. 1911.
Thurston, R. H. 'History of the Growth of the Steam-Engine.' London. 1878.
Tompkins, A. E. 'Marine Engineering.' Macmillan, London. 1921.
Tredgold, T. 'Steam Navigation.' London. 1851.
Wheeler, S. G. 'Marine Engineering in Theory and Practice' (2 vols). Crosby Lockwood, London. 1928.
Woodcroft, B. 'Sketch of the Origin and Progress of Steam Navigation.' London. 1848.
Yeo, J. 'Steam and the Marine Steam-Engine.' London. 1894.

第8章 内燃机

D. C. 菲尔德（D. C. FIELD）

8.1 燃气发动机

内燃机的概念甚至比活塞式蒸汽机的概念还要古老。在17世纪后半叶，荷兰科学家惠更斯（Christiaan Huygens，1629—1695）就对用大气压力来产生有用的动力很感兴趣。他设计了一台机器，让少量火药在一个汽缸里燃烧，以提升一个平衡活塞，当气体冷却下来时，大气压力便将活塞向下推，按预想就是靠这个向下的冲程来做功。惠更斯的实验由帕潘（Denis Papin，1647—1714）继续进行，但是直到蒸汽的膨胀力取代了燃烧火药所产生的膨胀力后，可行的发动机才正式问世。

尽管有这些和其他的一些努力，但在1859年之前，除了蒸汽机，还没有出现可以在工业环境下连续工作的其他任何发动机。1859年，法国人勒努瓦（Étienne Lenoir，1822—1900）设计了一台用一种会引起爆炸的煤气空气混合物来运行的发动机（图58）。这台发动机与卧式双作用式蒸汽机非常相像，有一个汽缸、一个活塞、一根连杆和一个飞轮，不同之处仅在于用煤气代替了蒸汽，这种混合气体靠汽缸内某两点间在适当的时刻产生的电火花来点燃。当活塞到达冲程的中间位置时，蓄电池和感应线圈便提供必要的高压火花，用以点燃混合气体。在活塞返回的冲程中，废气被排除，新充入的煤气和空

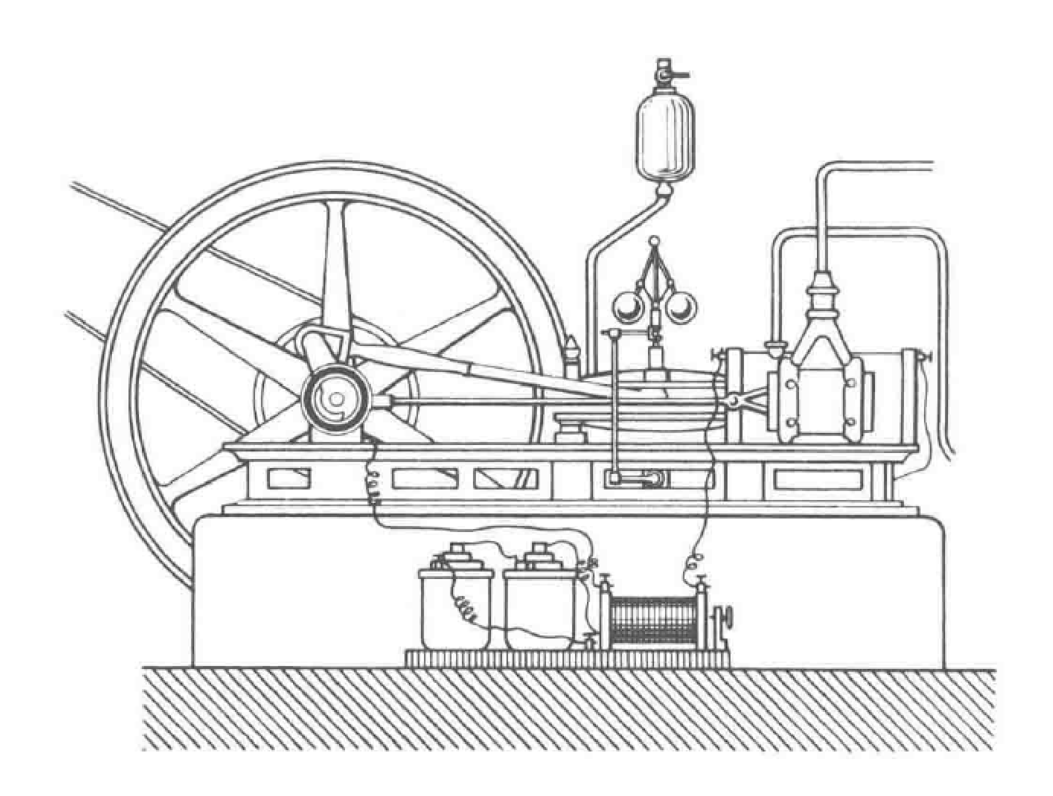


图 58　第一台勒努瓦燃气发动机，1860 年。

气则在活塞的另一边被点燃。显然，所以这种发动机是双作用式的，使用了蒸汽机上所用的水冷式的那种滑阀。与同样功率的蒸汽机相比，人们发现它的运行费用很大，每马力小时需要消耗 100 立方英尺的煤气。

然而，这种新型发动机的部分成功却是一个好兆头，激励了许多别的研究者来发展他们在这方面的思想。于贡（M.Hugon）是其中一位研究者，他在 1862 年制造了一台发动机，能在混合气体爆炸以后往汽缸中注入很细的水雾以帮助冷却。人们发现，它与勒努瓦的发动机相比，可以减少煤气的消耗量和降低废气的温度，但存在不对混合气体进行初始压缩的实质性缺点。

158

同年（1862 年）初，燃气发动机的发展进入了一个重要的阶段。另一位法国人博·德·罗夏（Alphonse Beau de Rochas，1815—1891）获得了一项专利，其中描述了每种实用的燃气发动机为获得有效的结果而必须满足的根本条件。这项专利保护了关于四冲程循环的发明，

这种发明后来变得几乎是通用的，并且在实际上取代了其他所有的运行方法。在博·德·罗夏的循环里，在活塞向着曲轴运动的第一冲程中，爆炸性混合气体被吸入汽缸；在返回的冲程中，混合气体受到压缩；当活塞运动到大约冲程的死点时，混合气体被点燃，燃烧的混合气体便在第三冲程中推动活塞；在第四冲程中，废气被排出汽缸。接下来，便是重复上述循环。在论证了他的发明原理之后，博·德·罗夏便让其他人去发明能使他的理论变成现实的机械装置，并在不久以后让这项专利中止了。

几年以后，德国工程师奥托（N. A. Otto，1832—1891）使四冲程循环的理论得以复活。1867 年，他成功地设计出一台立式大气压燃气发动机。1878 年，他又引入了一种卧式燃气发动机（图 59），它是根据博·德·罗夏的循环理论来进行工作的。然而，奥托是不是从未听说过博·德·罗夏的专利？这种系统是不是应该从此就被称为“奥托循环”？人们对这两个问题还是有争议的。

与其他类型发动机相比，这种新型发动机的优越性很快就变得明显了。仅几年工夫，由德国奥托和朗根公司（Otto & Langen）制造的 3.5 万多台机器便在世界各地的工厂里安装起来。其他类型的发

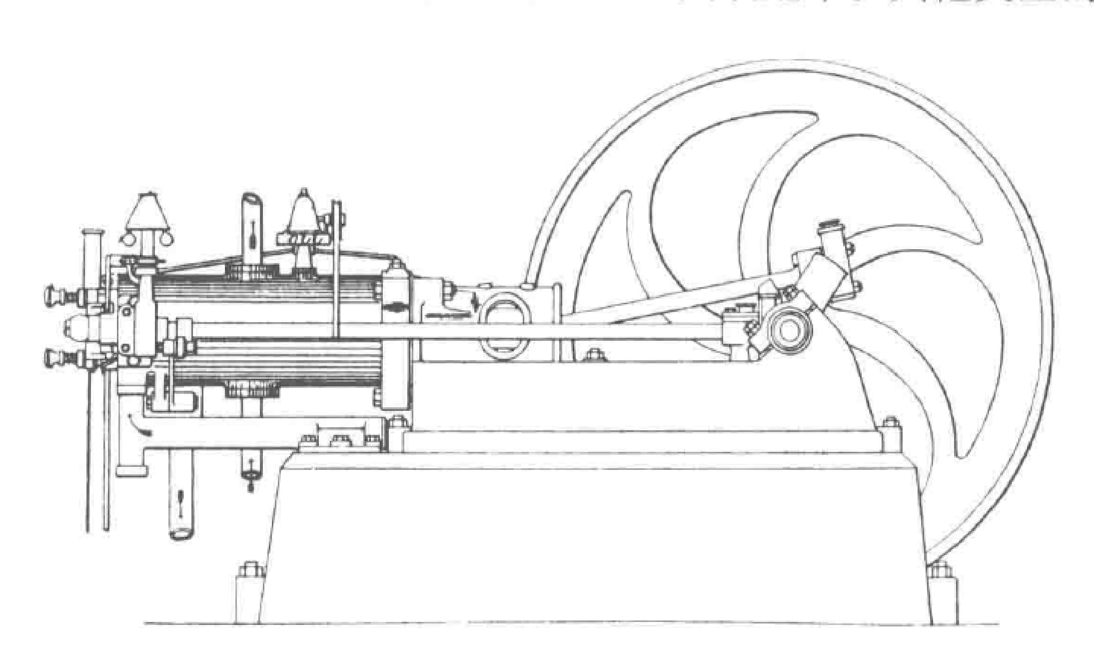


图 59　奥托的卧式燃气发动机，约 1878 年。

动机仍然在制造，例如毕晓普发动机。它的工作原理与惠更斯的想法一样，也是靠气体爆炸的膨胀来提升活塞，使活塞在做功行程中被大气压力往下推动。它是一种小功率的立式发动机，据说效果还是令人满意的。

随着蒸汽机的大规模应用，早期燃气发动机的设计者们自然而然地接受了低速卧式发动机的设计思想。我们在下面将会看到，这是一种严重的错误。虽然某些发动机采用了电点火方式，但大多数发动机是靠在正确时刻引入汽缸的火焰来点火的。这种发动机在汽缸壁的一条槽缝前面有一个旋塞开关，开关内部保持燃烧着一股火焰。当到达点火时刻时，滑阀按照事先设计会开启槽缝，这样就让火焰点燃混合气体，然后槽缝又被关闭。由于内部火焰在气体爆炸时会立刻熄灭，因此在旋塞的外部还需一股外部火焰，以重新点燃内部火焰。在点火的一瞬间，外部火焰与内部火焰是互相隔离的（图 60）。

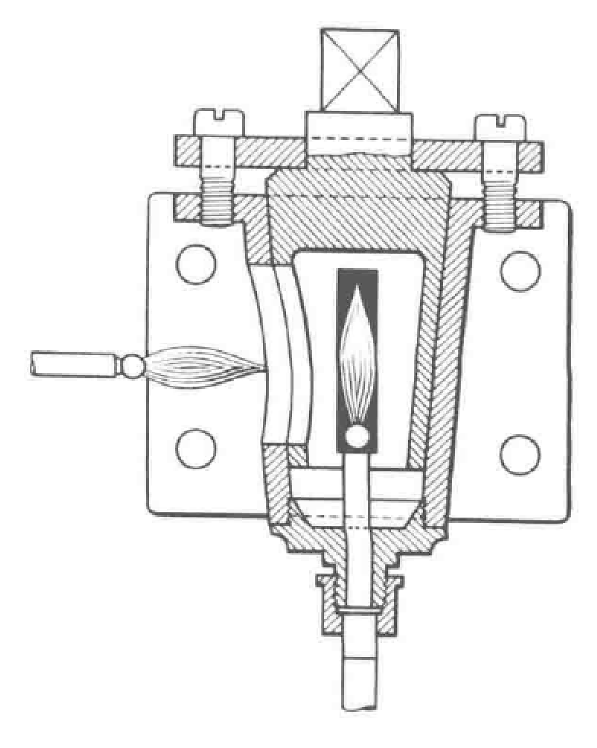


图 60　早期的火焰点火器简图，显示出内部和外部的火焰。

后来出现的一种思路是热管法。在这种方法中，把一根铂制的或其他不燃材料制的小管插入汽缸，它留在外部的端口是密闭的。这根管子由外部一盏本生灯的火焰维持着炽热状态，在压缩过程中，一部分混合气体被压入管中并立即点燃。

到 1878 年，这些发动机的燃气消耗量已减少到大约每马力小时 28 立方英尺。在其后一段时期内，尚存的其他系统还有克拉克（Dugald Clerk）的二冲

程发动机（1879 年）、勒努瓦的单作用式发动机（1883 年）和格里芬（Griffin）的六冲程发动机。大约从 1885 年起，人们一般都采用奥托的四冲程循环。由于它的表现如此优越，以至于在 4 年以后的一次国际性展览会上，展出的全部 53 台发动机中，共有 4 台采用了这种循环。

自那以后，随着许多细节的改进和马力的不断增大，燃气发动机已能成功地与蒸汽机相匹敌了。曼彻斯特的克罗斯利兄弟公司（Crossley Brothers）得到奥托的专利许可后，制造了大量的各种类型和尺寸的燃气发动机（图 61）。以廉价成本专门为这些发动机生产煤气的煤气制造厂的发展，则对燃气发动机随后的成功起到了巨大的作用。

8.2　燃油发动机

虽然燃气发动机在许多情况下被证明能有效地取代蒸汽机，但它在煤气供应困难或煤气价格太高的地方并不适用。不过，当时出现了其他一些想法，其中之一是用作为普通照明油的石蜡油（煤油）（边码 104）来使发动机工作。只有当温度达到 30℃—50℃时，这种烃类混合物才能释放出易燃的油蒸气。因此，在它与空气形成爆炸性混合物之前，必须使它蒸发或者精细地分离。

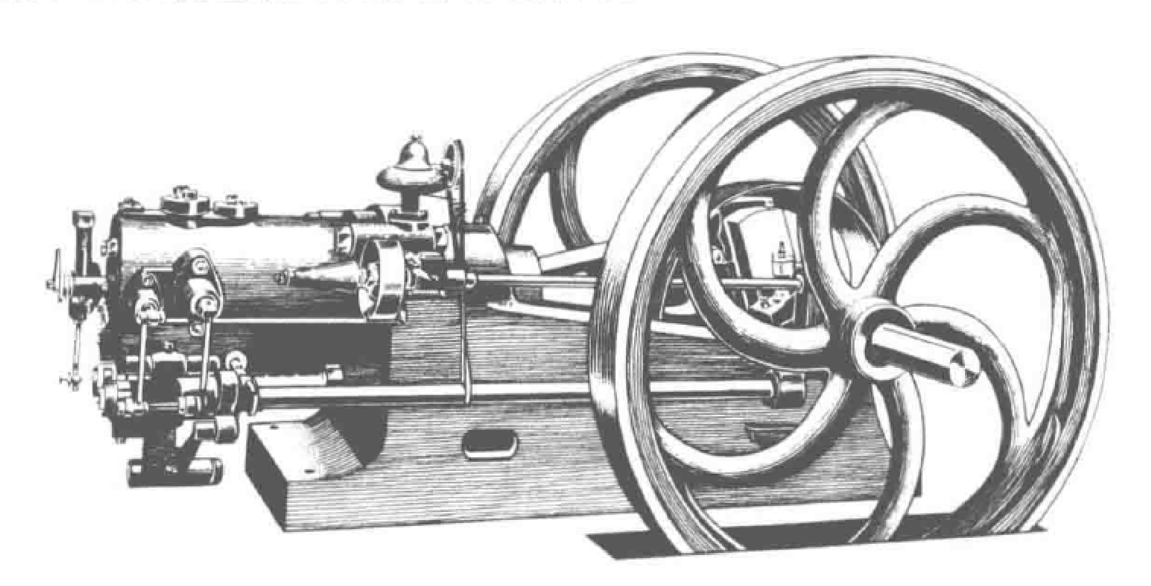


图 61　一台早期的克罗斯利燃气发动机。

1873年，维也纳的霍克（J. Hock）获得了关于这种发动机的专利。在这种发动机中，处于压缩状态的空气将喷出的油分离成细雾。然而，不完全的燃烧使这种发动机难以令人满意。同一年，费城的布雷顿（Brayton）发明了一种有两个汽缸的发动机，其中一个用于压缩混合气体，另一个用于做功。空气先被压缩并被强迫通过浸有油的吸收材料，导致含有适于燃烧的油蒸气。然后，混合气体被引入工作汽缸点燃，气体膨胀并将活塞推向汽缸的端部，废气则在返回冲程中被排出。这种发动机是一种双作用式发动机，以两冲程循环来工作。为了便于起动，它装有靠发动机本身来充气的压缩空气储存器。1890年，出现了一种改进很大的布雷顿型发动机，它是单作用式发动机，以奥托循环方式进行工作，经济性较好。

161

1886年，登特（Dent）和普里斯特曼（Priestman）获得了一项关于使用重油蒸气的发动机专利（图62）。在这种发动机中，经一台泵压缩的空气被储存在一个储气器里，这台泵则由一根以曲轴一半速度来运转的轴所驱动。压缩空气被喷射到另一个储气器中，将那里的油喷

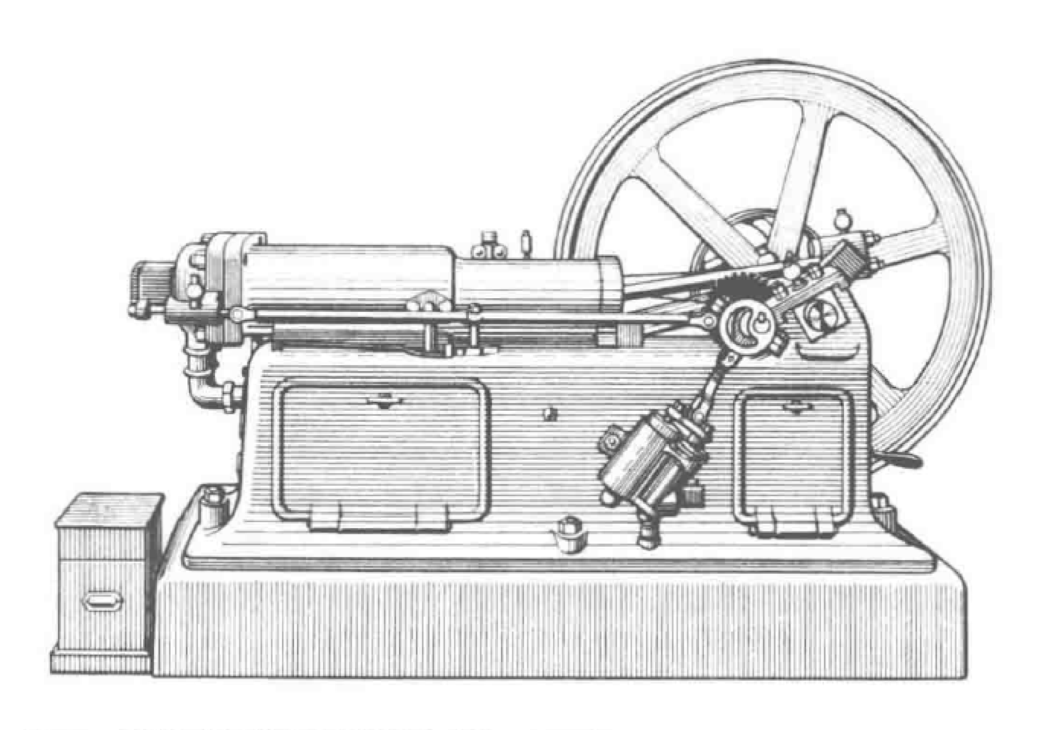


图62 登特和普里斯特曼的燃油发动机，1886年。

成雾状，以细雾的状态带入用废气来加热的汽化器中，在这里加入较多的空气，形成一种爆炸性混合气体并进入燃烧室。这种发动机以奥托循环方式工作，当时制造出了卧式和立式两种，立式发动机的功率高达100马力。1889年，一台装在轮子上而且完全整装的轻便样机造了出来，打算用于农场，并获得了皇家农业学会（Royal Agricultural Society）的银奖。

坎贝尔燃油发动机由哈利法克斯的坎贝尔燃气发动机公司（Campbell Gas Engine Company）制造，这种精心设计的卧式发动机结构精巧，工作部件很少。一个离心调速器控制着混合气体的进入量，也控制着所产生的功率。它用一盏油灯来加热汽化器，还有一个专用的起动储气器。另一种设计用煤油来运行的发动机是格罗布（Grob）式发动机，这是一种以奥托循环方式进行工作的立式发动机。一台由发动机驱动的泵将油注入雾化器，油在那里变成很小的液滴，空气和油的混合物经过一根能受到外部火焰作用的管子，在进入汽缸之前汽化。这样，无须任何复杂的方法，油就被汽化并通过接触一根炽热的管子而被点燃。当运行速度超过某一最大值时，一种“断续式”（hit-and-miss）调节系统便会阻止混合气体的点燃。这种发动机采用了水冷方式，装有一种配用风扇的特殊形式的冷却器。

162

一种相似类型的发动机是卡皮泰纳式发动机，由卡皮泰纳（Émile Capitaine）在1879年至1893年期间发明出来。在他的最终设计中，由于精心地控制了汽化器的温度，不仅无须使用加热灯，而且效果很好。事实上，汽化器是装在燃烧室里的。但是，在发动机冷态起动时的一小段时间内，需从外部来加热。

霍恩斯比（Hornsby）的卧式燃油发动机使用了一种位于燃烧室端部的汽化器，并且设置了一盏用来在启动时加热汽化器的专用手提式油灯。在启动时，为了将温度提高到足以保证点燃爆炸性混合气体，大约需要10分钟的时间（图63）。有一根小管将汽缸和汽化器室连

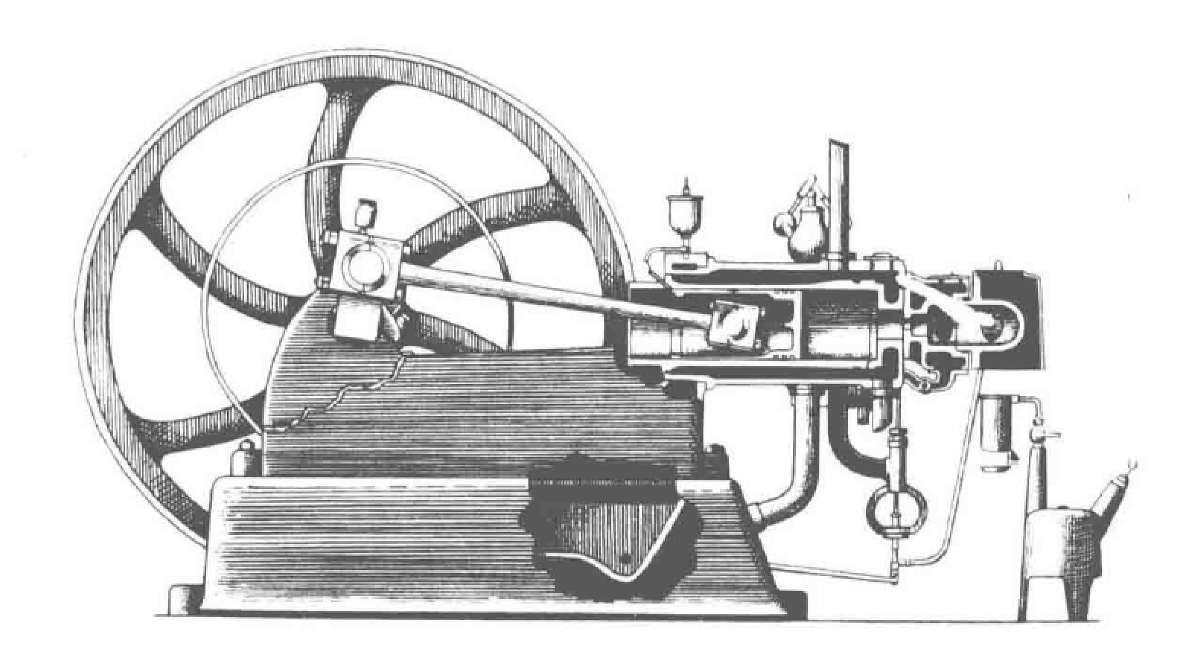


图 63 霍恩斯比的燃油发动机，图中显示了汽化器。

接起来，在活塞的返回冲程期间，空气被压入汽化室，从而使汽化器中充满压缩空气。在这一冲程接近结束时，采用由这台发动机的半速转动轴所驱动的泵把产生爆炸性混合气体所需的精确油量注入汽化室。设计者提供了一种调节注油量的方法，即用发动机上的一个调节器控制着油泵的出油阀。油一注入压缩空气就立即被汽化，混合气体一旦接触到加热了的汽化器壁，就随即发生爆炸。在进行了初始加热以后，需要用手来转动飞轮，直到发生第一次燃烧为止。这时可以把灯熄灭，随后的点火足以维持汽化器的温度，汽缸则是用水来冷却的。

163

克罗斯利的燃油发动机使用了一种特殊类型的汽化器，上面装有一个环绕灯罩的螺旋状通道。在接触油之前，空气被泵驱动着流经这个螺旋状通道，而且像在其他结构的发动机中一样，一旦发动机正常地启动了，灯就不需要了。

8.3 柴油发动机

1892 年，巴黎出生的德国工程师狄塞尔（Rudolf Diesel，1858—1913）取得了他的第一项英国专利，目的是产生“动力”，方法则是“把经过加热的空气……压缩到如此高的程度，以致通过爆炸后的膨

胀，空气会冷却到接近大气的温度，而在这个量的空气被压缩之后，燃油被逐渐地注入……在这种压力下，温度会变得如此之高，以致所用的燃油一接触到压缩空气就自动点燃了”。

狄塞尔的主要目标是绕过内燃机的两个主要的热损失源，一是通过逐渐地加入燃油来控制最高温度，二是降低排气的温度。为此，他设计了一台奥托循环式发动机。这台机器工作时，上升的活塞只是将纯粹的空气压缩到很高的程度，比过去对任何一种燃油发动机中混合气体的压缩都要高很多。然后，用一台注油泵将少量但定量精确的油压入燃烧室，接触到压缩气体时便自动点燃。人们发现，这种发动机使用几乎所有种类的石油都能运转良好，而且它的最高热效率比其他任何一种动力机械都要高出 11%。

164

这种发动机的主要缺点是，为了保证能按上述方法点燃油，需要相当高的压缩比，因此在同样的输出功率下，必然会比相应的燃油发动机更沉重，在低速运转时也显得不太稳定。然而，这些缺点在我们论述的这一时期内是不太重要的，当时比较大型的固定式发动机都被看作柴油发动机的最有用形式。用于道路运输和其他目的的现代高速柴油发动机的发展，则不属于本章讨论的范围。

8.4 汽油发动机

上面讲的各种发动机都是低速运转的，每分钟不超过几百转，其中的许多发动机都像早期的蒸汽机那样，使用的是卧式汽缸。

符腾堡的戴姆勒（Gottlieb Daimler，1834—1900）最先认识到，人们需要的是一种小而轻的高速发动机，因为高转速能导致功率的提高。许多年来，他一直从事燃气发动机的制造，并在 1884 年获得了一项关于用热管来点火的小型高速燃气发动机的专利。1885 年初，他又获得了一项关于立式单缸发动机的专利，这种发动机上装有密闭的曲轴箱和飞轮，是后来制造的各种名目的戴姆勒发动机的原型。它使用

了空吸式进气阀和机械式排气阀，还安装了调速器，用以在转速超过预定的数值时阻止排气阀的开启。它还借助一个封闭式风扇来使空气围绕汽缸环流，对汽缸进行空气冷却。

为了使发动机能使用在空气中容易蒸发的轻石油精进行工作，戴姆勒在1885年发明了表面化油器。它主要是一个盛有约占2/3容积的汽油的容器，容器内有一个环形浮子，连着一根在基部附近开有一些小孔的竖立长管。在主容器上方是一个小腔室，用来储存混合了汽油蒸气的空气。通过一根管子，发动机的汽缸可以从这个小腔室里抽出爆炸性混合气体，补充的空气旋即通过那根立管被吸入小空腔，空气便以气泡的形式"咕噜咕噜"地通过浮子上方的汽油。于是，空气在进入顶部的储存室以前，就已经包含大量的汽油

165

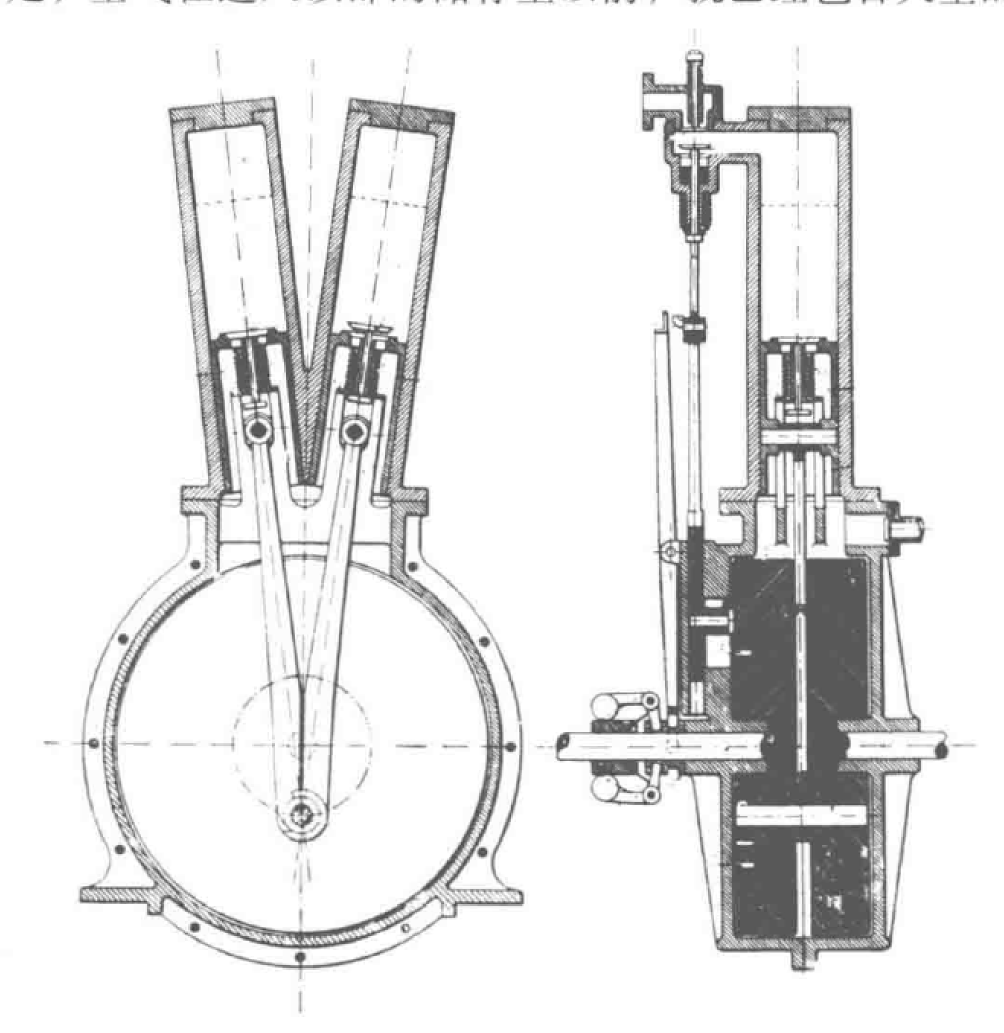


图64　戴姆勒于1889年获得专利的V型双缸汽油发动机。活塞上的那些阀门从未被实际安装过。

蒸气了。

1889 年，戴姆勒取得了一项关于 V 型双缸发动机的专利，这种发动机具有两个成 15° 夹角的相互倾斜的汽缸，两个汽缸的两根连杆连在一根公共的曲柄上（图 64）。由于欧洲大陆的几个制造商在汽车上采用了这种发动机，后来它被大量制造并销售，不仅被当作固定式发动机使用，也用作摩托艇的动力装置。

戴姆勒发动机的精确工作方式具有如此基本的重要性，因此有必要详细描述它的工作过程，尽管这样做有时会重复许多在述及燃气发动机时已经说过的话。这种发动机按奥托循环（四冲程循环）方式工作，在活塞的第一个向下冲程中，蘑菇头进气阀因空吸作用而自动打开，充满了汽油蒸气的空气便在大气压力的作用下通过进气阀压入汽缸。在这个冲程结束时或即将结束时，进气阀在一个轻型弹簧的作用下关闭。在返回的冲程中，混合气体被压在活塞上方的小空间里，最终压强大约是每平方英寸 45 磅（压缩比大约是 3∶1）。在差不多到达上死点时，混合气体被热管点燃，温度的升高使气体压力提高约 20 倍，汽缸内的气体随即膨胀，驱动活塞向下运动。在这个做功冲程快结束时，机械装置将排气阀打开，燃烧的产物便进入排气管，并接着进入消音器，在下一个向上的冲程中排气阀始终是打开的，这些产物几乎被活塞完全排除出去。然后，这个阀被它的弹簧关闭，整个循环过程再次重复。由此我们可以看到，曲轴每转两周只有一个做功冲程。为了使排气阀每两转只开启一次，使用了 2∶1 的减速齿轮。在不做功冲程期间，发动机的运转靠飞轮的动量来实现。

166

167

发动机的速度靠一个调速器来控制，一旦转速超过所预期的最高值，调速器便使排气阀保持关闭状态，速度就会减慢下来并且阻止继续送入混合气体，一直到速度降低到足以使调速器能恢复发动机的正常工作为止。为了降低由混合气体燃烧所引起的极

高的发动机温度，汽缸铸件和阀门铸件都是带水套的。冷却水流经水套不断循环，冷却水本身则通过散热器、水箱或其他冷却装置来得到冷却。

1885年，在戴姆勒设计高速立式发动机的同时，曼海姆的本茨（Karl Benz）制造了他的第一辆汽车（边码427）。这辆汽车装配了用汽油来运行的卧式发动机，并且应用了奥托循环方式（图65）。然而，与燃气发动机一样，它的速度很慢，还使用了表面化油器的一种原始形式，主要是一个盛有燃料的容器，排气管通过容器对燃料稍稍加热以帮助其蒸发。空气进入一个环绕着这个盛有汽油的容器的环形腔室，然后穿过盛汽油的容器进入发动机。在化油器和发动机之间还装有一个叫混合器的装置，主要是一根有精细小孔的管子，让化油器里出来的混合气体流过。这根管子又被一根较粗的管子所包围，粗管子上也开有小孔，以让大气中的空气进入。滑动闸板位于粗管上方，用来调节所得可燃性混合气体的浓度。

168

在本茨的汽车上，电点火系统是一个由感应线圈和蓄电池组成的高压系统（图66）。这辆汽车是第一批这样装备的汽车中的一辆，后来的许多制造商也都使用了这种点火系统。因此，我们准备对它作一个完整的介绍。

一个4伏特的蓄电池与感应线圈的初级线圈串联，其中还接有一个叫自动振动器的装置。这是一个薄金属片弹簧，线圈一通上电就被吸引到线圈的铁芯上。当向着铁芯移动时，它就自动地切断了电路。结果，弹簧片就弹回到原来的位置上，重新接通电路。整个循环就这样快速重复，发出很响的嗡嗡声，并使感应线圈的次级线圈（或叫高压线圈）在汽缸里的火花塞上产生一连串的火花。火花塞的结构与现代的结构相类似，但是它相当大，用一种法兰接头接到汽缸盖上，而不是用螺栓拧进去。一个以发动机转速的一半旋转着的接触断路器与电池和初级线圈绕组串联，以保证仅在需要时发生点火。通过控制接

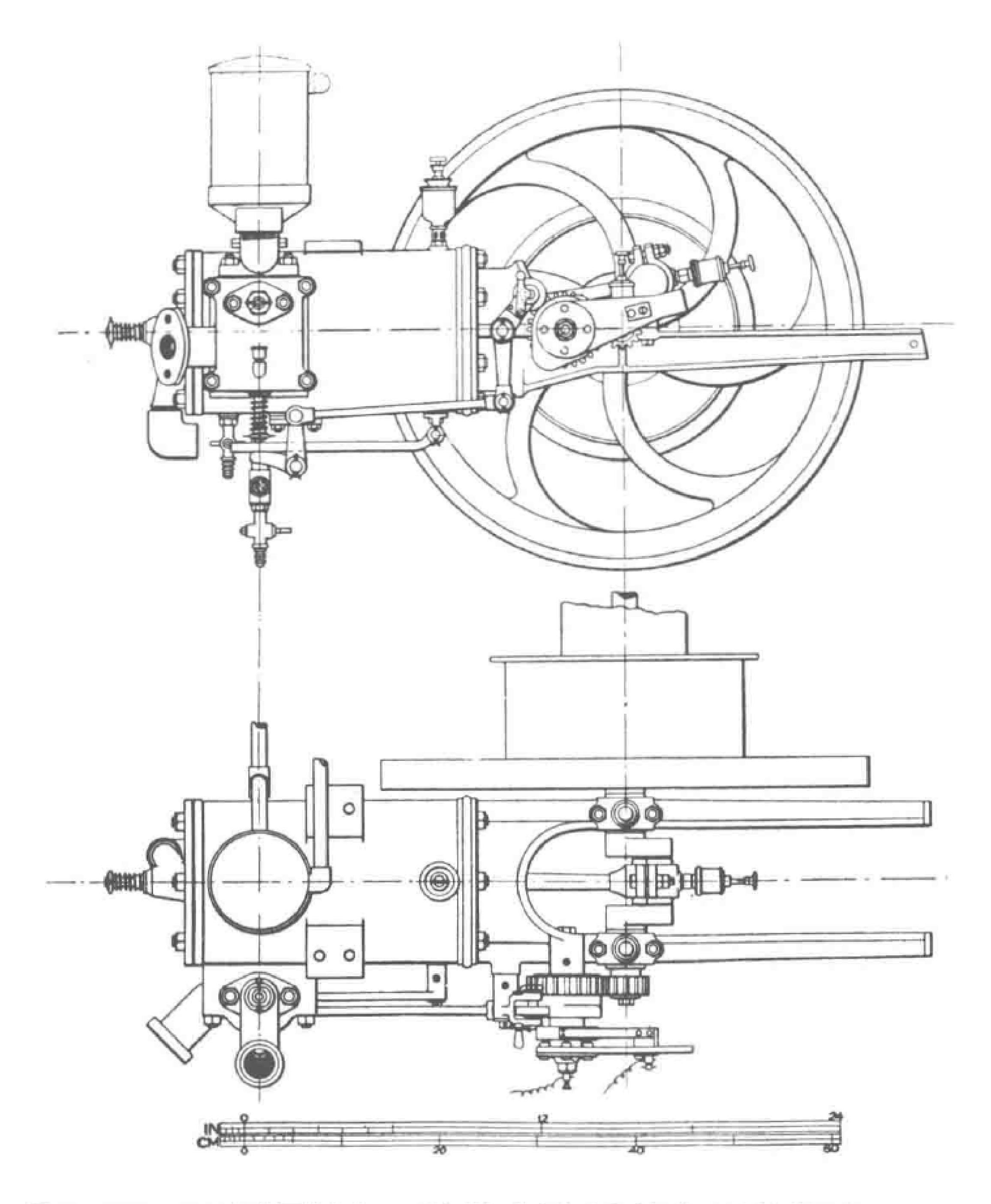


图 65　1893—1901 年使用的本茨 3.5 马力单缸卧式汽油发动机的正视图和俯视图。

触断路器指针的位置，可以在很宽的范围内改变点火的时间。接触断路器本身由一个绝缘材料圆盘构成，盘上镶有一块约占圆盘周长 1/8 的金属扇形片。当这块金属片从接触断路器指针的针尖下经过时，电路便闭合了，线圈得到了电能，火花塞上就会出现火花。电路中还串联了一个断流器或手动开关，用来在需要时切断电路，例如要停机时。在自动振动器的触点上跨接了一只电容器，用以减小在这里发生的

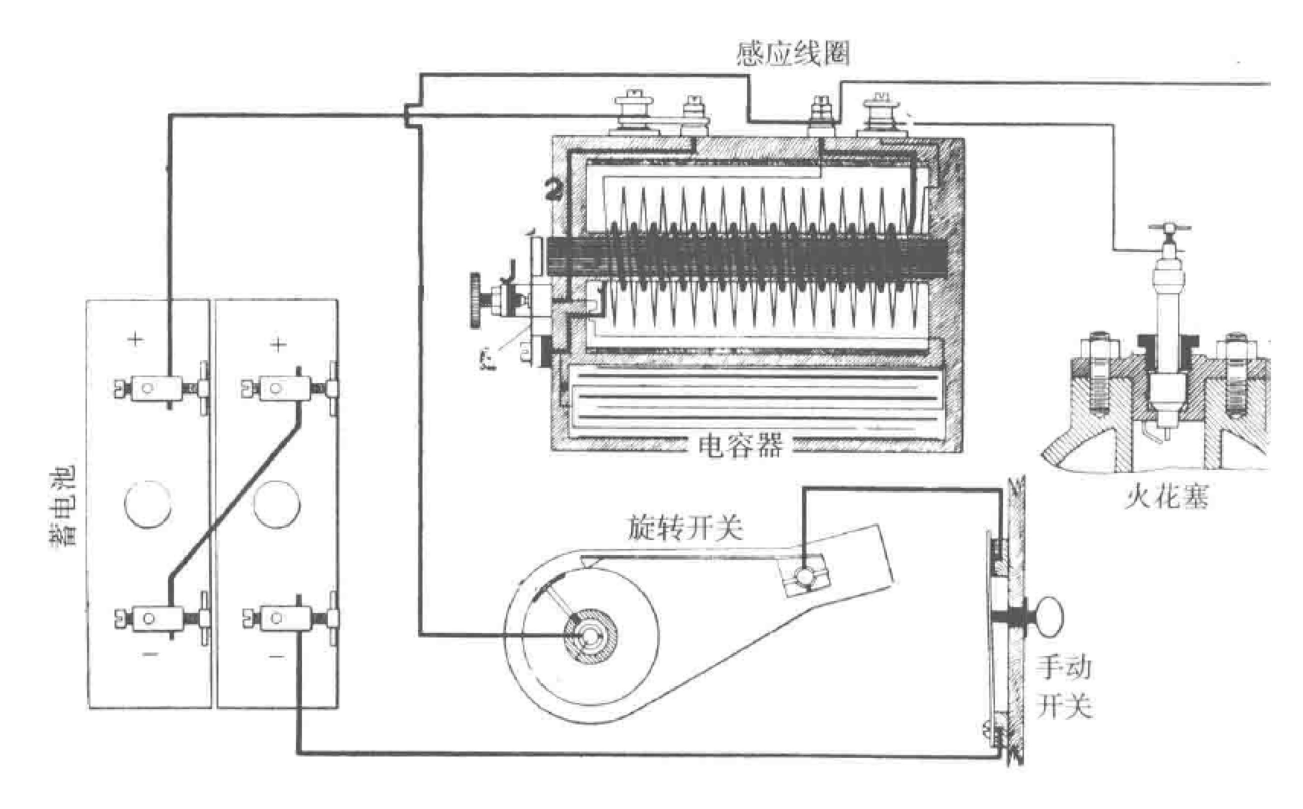


图 66　本茨电点火系统的示意图。

火花。

一项非常重要的发明是浮子充油式化油器，迈巴赫（Wilhelm Maybach）在 1893 年取得了它的专利，并应用在戴姆勒发动机上。在这个装置里，汽油靠压力或重力送到一个装有一个浮子的腔室里。一根端部开有一个非常小的孔（也叫喷嘴）的管子，将腔室中的汽油引到发动机进气管的适当点，空吸作用使得输入的空气与从喷嘴里喷出来的油雾在这里混合（图 67）。浮子控制着一个用来调节从油箱流入浮子室的油量的针阀，浮子室内的油平面便始终保持在合适的高度上。这一原理最终被几乎所有的化油器制造商所采纳，不过迈巴赫靠他的专利权将它保护了好几年的时间。

1895 年，位于法国圣但尼附近皮托的工厂里，德·迪翁（Comte de Dion）和布顿（G. B. Bouton）在制造了好几年蒸汽驱动的汽车之后，把注意力转到生产一种轻型高速的汽油发动机，并取得了令人非常满意的成果。这种小型单缸风冷发动机装到了一种三轮摩托车

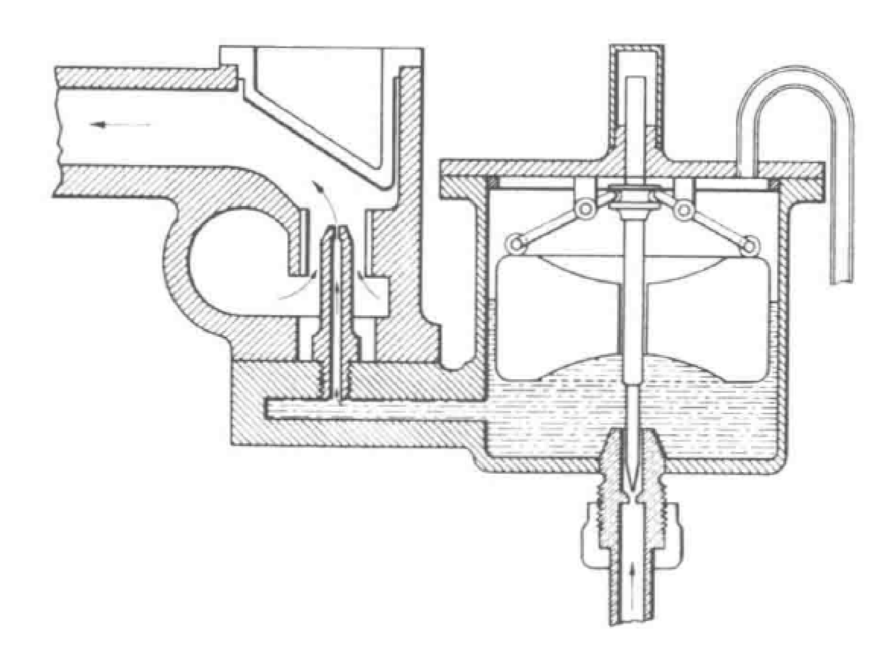


图 67　早期的浮子充油式化油器，图中显示了喷嘴的位置。

上，而且此后还将有更大的发展（第 18 章），成为按类似原理制造的几千台发动机的先驱，值得我们进行详述（图 68）。

它是按奥托循环方式工作的，并且与十年前由戴姆勒制造的第一台立式发动机基本相似。它具有一个立式汽缸和一对双联内置飞轮，还有一个自动进气阀，或叫空吸式进气阀，排气阀则靠机械来控制，最高速度大约是每分 1500 转。它使用了表面化油器以及后来在德·迪翁发动机上使用了多年的电点火装置（图 69），点火装置中采用了一种原电池和一

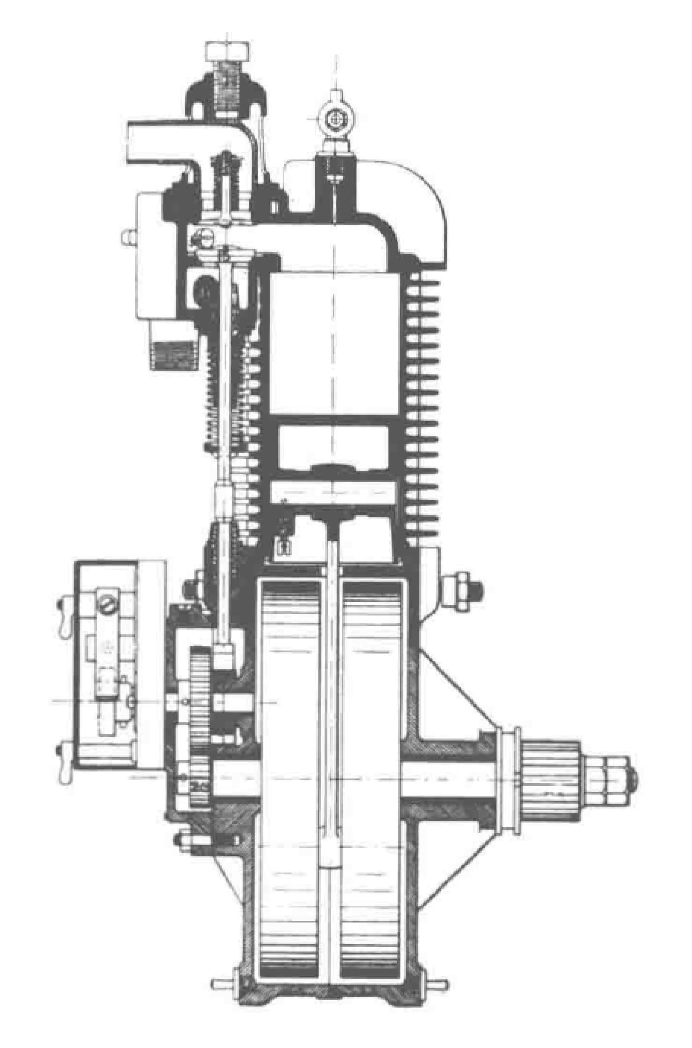


图 68　1899 年制造的 1.75 马力风冷德·迪翁－布顿发动机的剖面图，图中显示了阀动装置和点火装置。

170

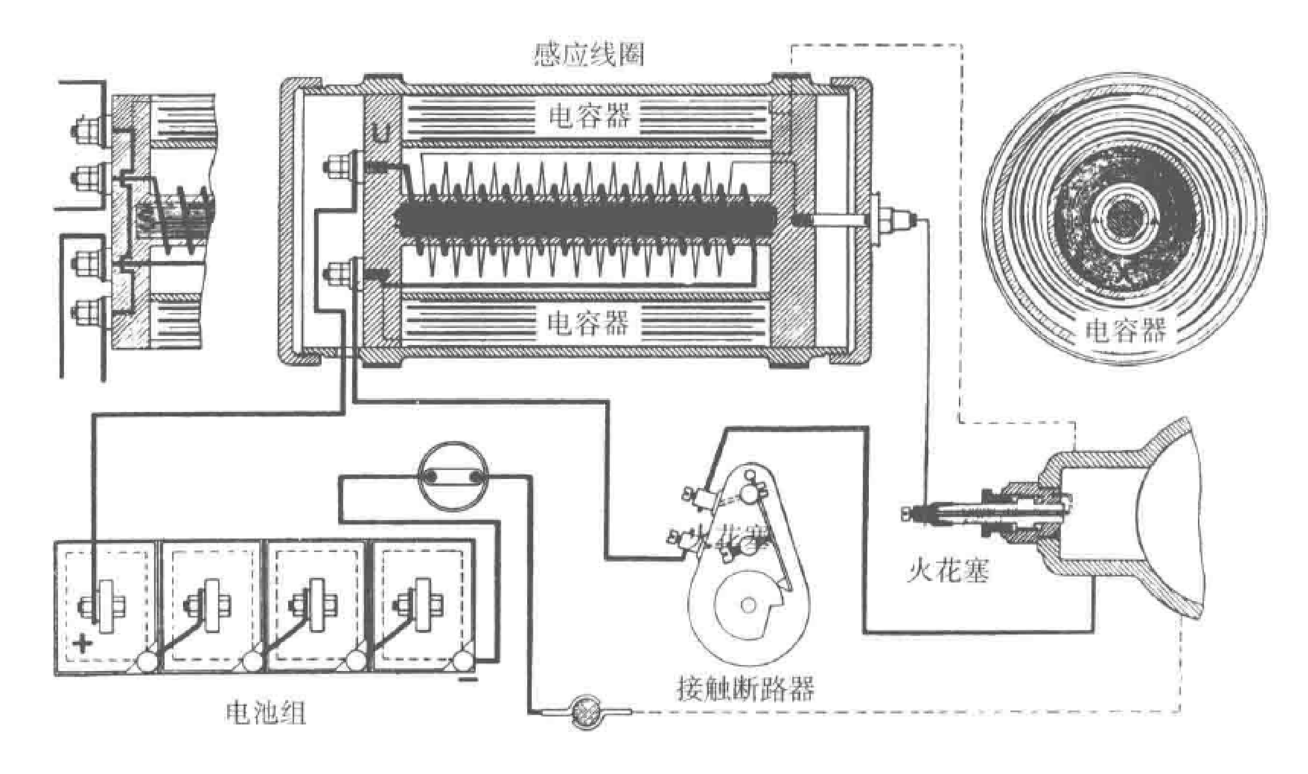


图 69　德·迪翁 - 布顿的电点火系统示意图。

种普通的感应线圈，这意味着它不像本茨发动机那样还要用一个自动振动器装在这种发动机半速轴上的一个特殊形式的凸轮，取代了本茨发动机简单的擦接式接触断路器。凸轮周边上某一点处切出了一个 V 型槽口，接触指针的末端不带电，但紧靠在凸轮的边缘，每当 V 型槽口转到指针末端处时，一个小端头便在指针弹力的作用下落到 V 型槽口里。沿着指针大约一半的一个点上有一个小接触钮，这时它会同一个可调接触螺钉的端部相接触，这个接触螺钉上则连有初级电路的一根引线。只有当 V 型槽口处于适当位置时，这种接触才会发生。从理论上说，这根指针是要振动的，而且要在 V 型槽口每次经过的期间发生好几次接触，这样才能保证由感应线圈的高压线圈产生一连串的火花。当发动机高速运转时，能否有时间作这样的振动是一件令人十分怀疑的事。然而，这一系统一直工作着，而且工作得很好，结果令人非常满意。在所有其他方面，这种方法与已经论述过的本茨系统是一样的。

1897 年，考文垂的英格兰戴姆勒公司开始制造汽车，当时使用

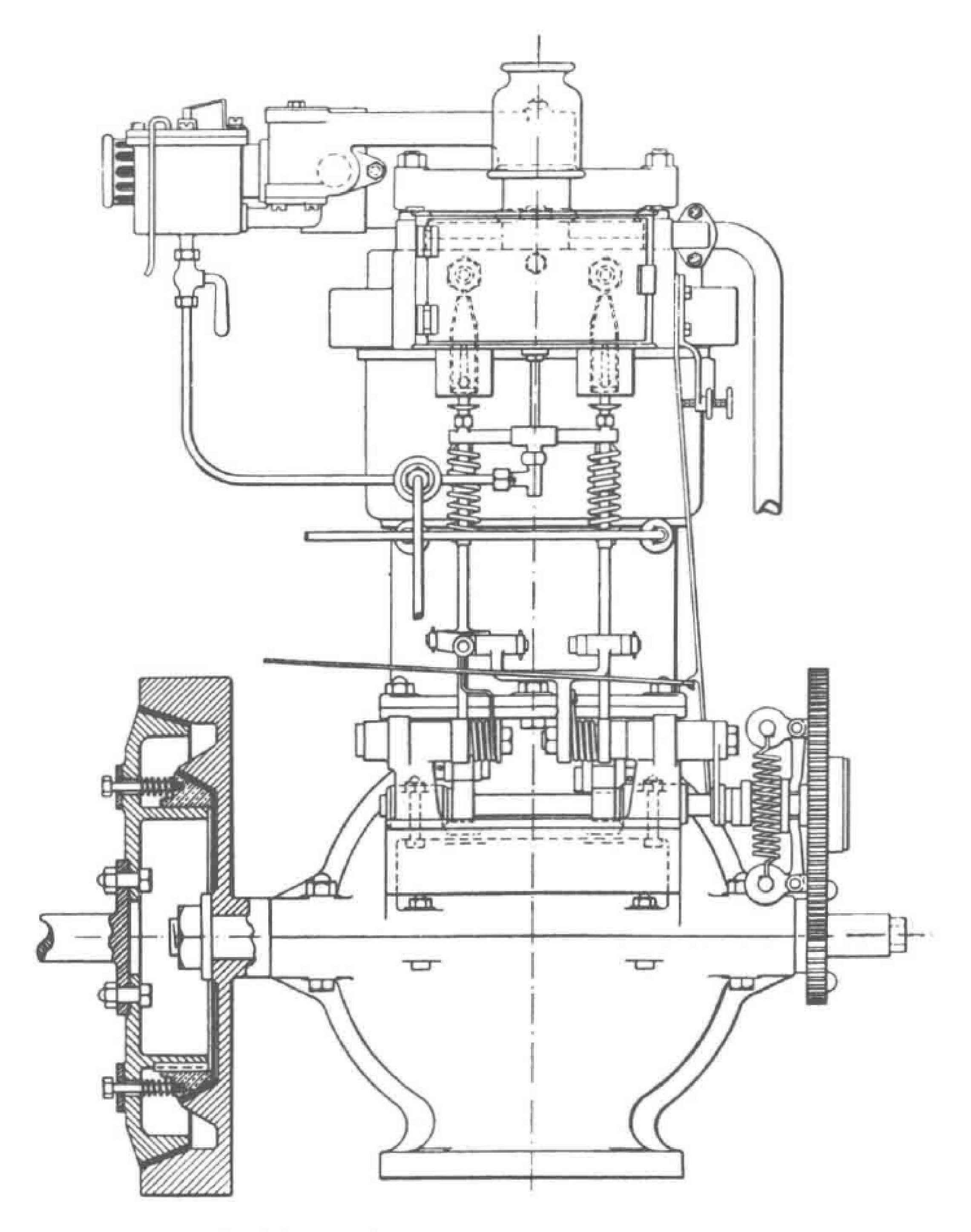


图 70　1899 年的 6 马力菲尼克斯 - 戴姆勒双缸汽油发动机，图中显示了排气阀上的"断续式"调节装置。

了一种名叫"菲尼克斯 - 戴姆勒"(Phoenix-Daimler) 的发动机(图 70)。这是已经叙述过的 V 型双缸发动机发展而成的产物，由两个立式单缸发动机组成，两个汽缸置于一个公共的曲柄箱上，箱里有一根公共的曲轴，两个曲柄相差 180°。它使用了建立在迈巴赫 1893 年专利基础上的热管点火系统和戴姆勒浮子充油式化油器(图 71)，排气

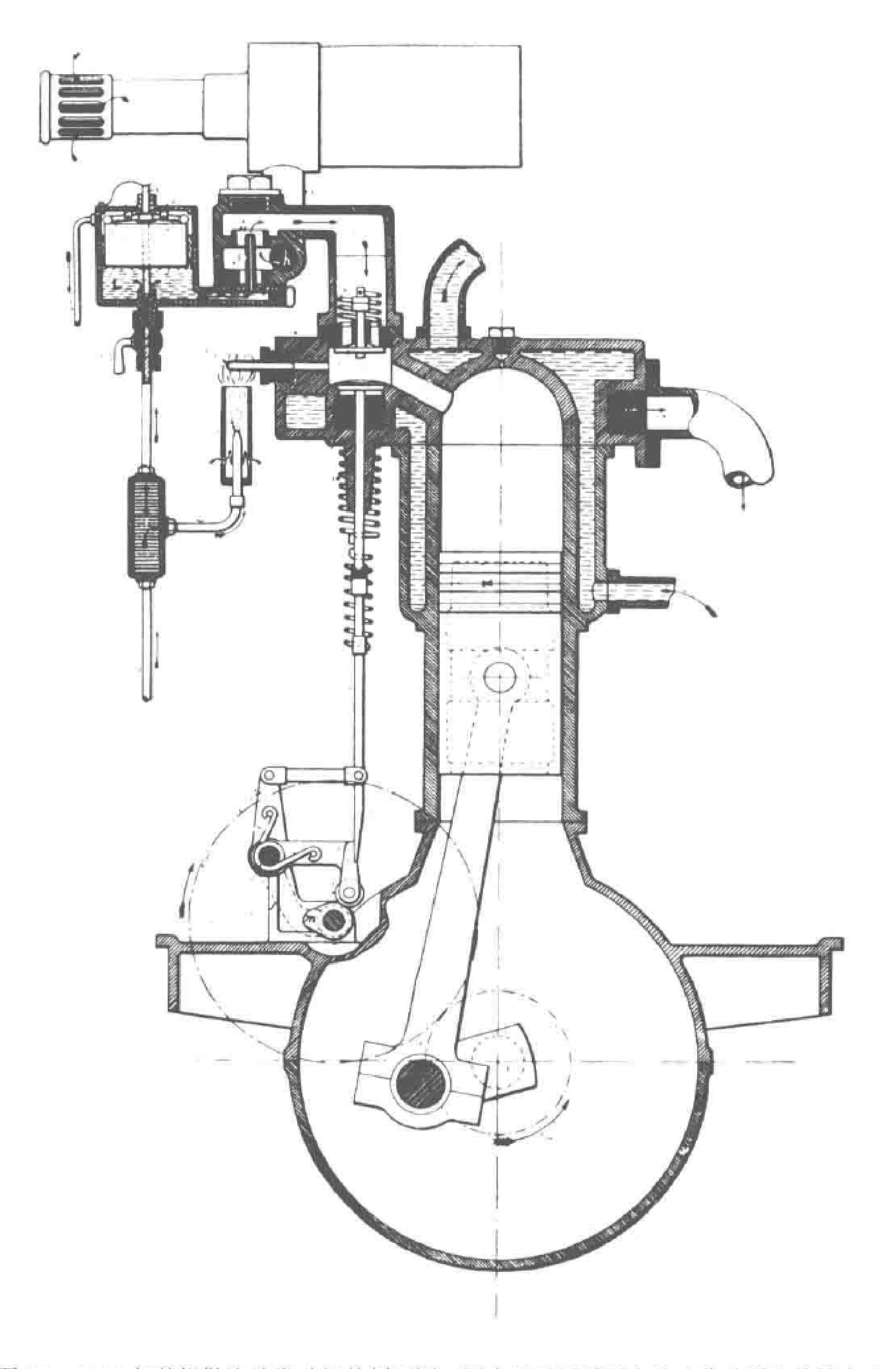


图 71　1899 年戴姆勒汽油发动机的剖面图，图中显示了浮子充油式化油器和热管点火系统。

阀上装有“断续式”调节装置，而且把排气阀设计成其中一个在另一个之前关闭。一直到 1901 年时，戴姆勒汽车都使用这样设计的发动机。1899 年，一种采用四汽缸的变型（实际上是首尾相接放置的两台

双缸发动机）被引入。

1896 年，弗雷尔（Peugeot Frères）停止使用安装在他们生产的汽车后部的戴姆勒 V 型双缸发动机，采用了自己设计的一种新型卧式发动机。这是一种平行双缸型发动机，两个活塞一起进出，排气阀用一个装在曲轴上的设计巧妙的沟槽凸轮来控制。这种发动机的进气阀靠空吸作用来工作，还能靠一种凸轮滚柱装置（cam-and-roller mechanism）在适当时刻调整阀门弹簧的弹力。这种复杂装置使用了热管点火和水冷系统，优越性看来有待讨论。所有的“标致”（Peugeot）汽车都采用了这种发动机，直到 1902 年才采用了一种更加标准的立式发动机。 172

在引入四冲程循环的多缸发动机时，出现了许多问题。粗看起来，如果在一台双缸发动机中把曲柄安置得当，使两个活塞位于冲程的顶部和底部，力学平衡性似乎很好。但遗憾的是，还必须同时考虑点火的顺序。由于曲轴每转两圈，一个汽缸只有一个做功冲程，在使用上面所述的曲柄时，不可避免地会在曲轴的两个接续的半周中有两个接连发生的点火冲程，而在下面的两个半周里却没有做功冲程。另一方面，如果让两个活塞一起上下，点火间隔将会完全对称，但让这样一种发动机保持力学平衡并不容易。 173

解决这一问题的一个好办法是在所谓的卧式对置的设计中，把两个汽缸对置在曲轴的两边。在这种情况下，就把 180° 发动机平衡性好的优点和 360° 点火系统均匀性好的优点结合起来了。尽管这种解决办法看上去十分完美，但必须采用卧式汽缸也会带来某些缺点，而且这种设计还没有被应用到能够充分发挥优点的程度。不过，在我们所论述的这一时期以后，基于这一系统的四缸甚至六缸发动机得到了成功的应用。 174

根据要确保改善运动部件平衡性这一想法，1899 年设计出戈布龙 – 布里耶（Gobron-Brillié）汽车用发动机（图 72）。它是立式双缸型

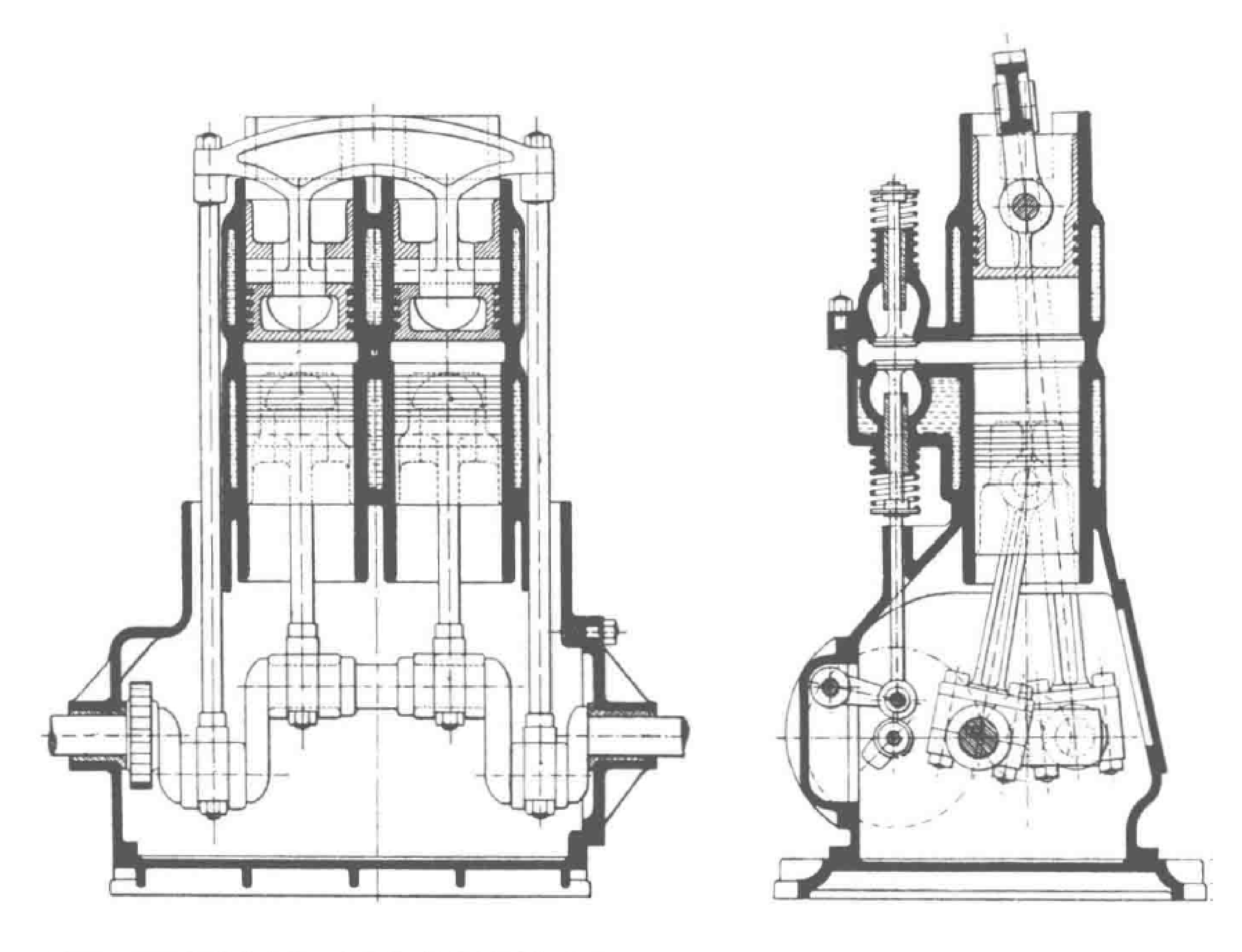


图 72　1899 年的戈布龙 – 布里耶对置活塞式发动机。

发动机，但每个汽缸具有两个活塞，混合气体的爆炸发生在它们之间。下面的一对活塞一起升降，曲柄相差 360°，上面的一对活塞也是这样，都是通过一些短连杆连接到上面的一个刚性结构的桥式部件上。这个桥式部件或十字头的每个外部端头都接有一根非常长的连杆，连杆的下端把连杆大头轴承接到另一个曲柄上。这两个外端曲柄与下部活塞上的一对内置曲柄相差 180°，在这里用了一根单一的四拐曲轴。发动机的正常转速是每分 800 转，并采用了一种有点复杂的调速系统，借此可在化油器里中断汽油的供给。它还使用了自动进气阀。甚至在 10 年以后，戈布龙 – 布里耶汽车仍然使用着这种基本的设计，有四缸型和六缸型。

另一种旨在达到完美平衡性的发动机使用在早期的阿罗尔 – 约翰

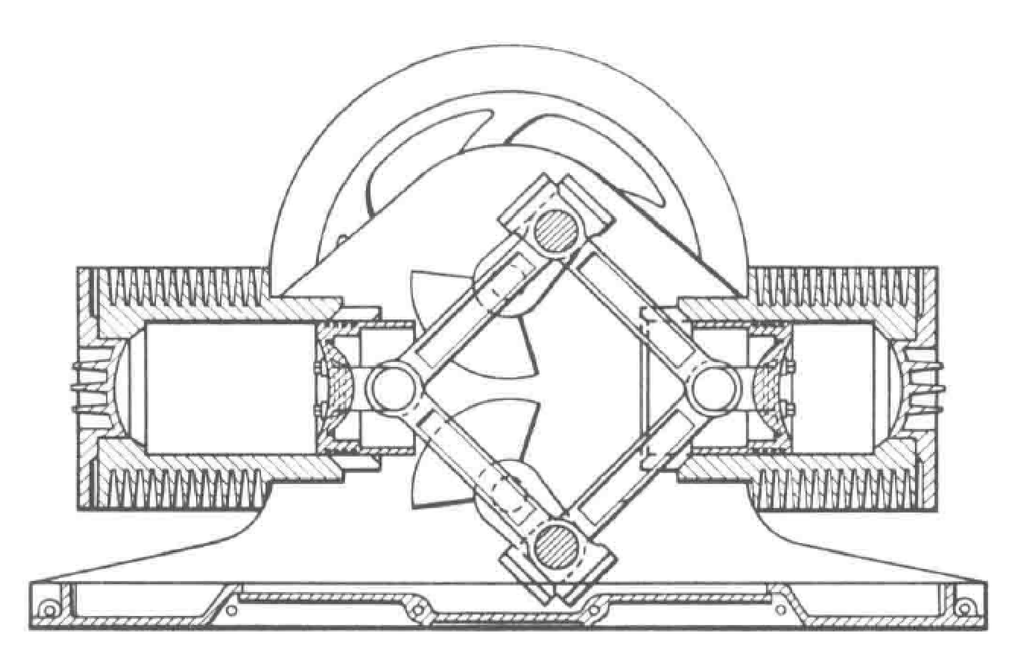


图 73　双缸的兰彻斯特发动机，图中显示了平衡的方法。1897—1904 年。

斯顿（Arrol-Johnston）汽车上。其中，两个平行的卧式汽缸横置在汽车上，一个紧挨在另一个的后面。曲轴位于它们下面，与汽缸轴线成直角。像戈布龙 – 布里耶发动机一样，每个汽缸有两个活塞，活塞上的连杆通过装在汽缸端头的一个摇臂系统来驱动相差 180° 的曲柄。这种发动机使用了低压磁电机[1]点火系统和自动进气阀门，正常转速是每分 800 转。这种设计大约在 1900 年至 1906 年期间被人们采用，并且相当成功。

175

在结束关于 19 世纪末期以前内燃机发展的回顾之前，有一种发动机值得比较详细地加以描述，因为它确实在很大程度上解决了平衡问题，尽管是以结构相当复杂作为代价的，这就是兰彻斯特（F. W. Lanchester）在 1897 年设计的发动机。它使用了两个卧式对置汽缸，但是用两根曲轴来取代了通常的单根曲轴，一根曲轴置于另一根曲轴的上面，靠齿轮啮合在一起，以相反的方向转动。每个汽缸中的活塞都有一根连杆接到这两根曲轴上，从而得到了其他任何方式都没有得到的力学平衡性（图 73）。这种发动机还具有许多其他的巧妙特点，例如，装有机械操纵的进气阀，磁电机装在一个飞轮内的低压磁

1　用这种类型的低压磁电机时，火花是靠汽缸内初级电路的机械断流产生的。

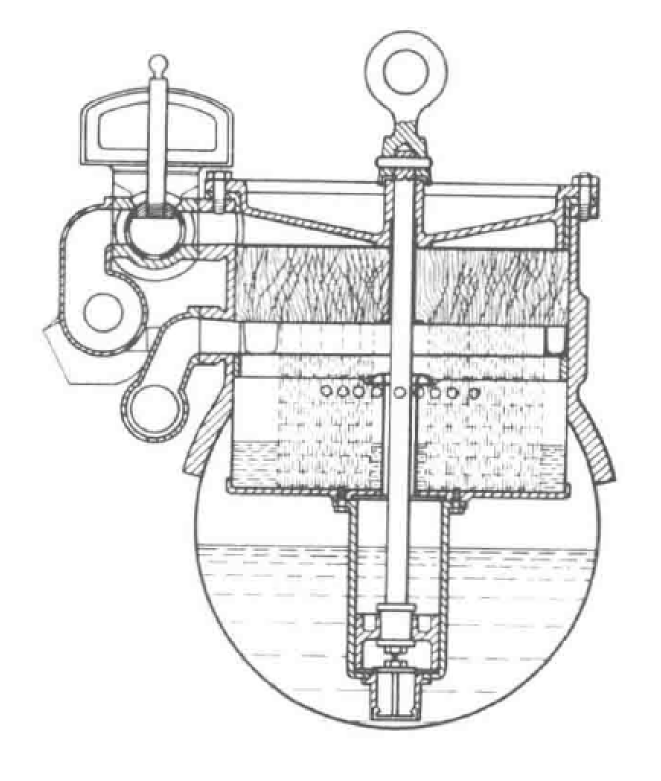


图 74　兰彻斯特的油绳式化油器。

电机点火系统上，以及装有可以快速拆除的“点火器”，它实际上在汽缸内实现电路的机械断流，感应出的火花便可点燃混合气体。此外，属于兰彻斯特专利的油绳式化油器也被采用（图 74）。在这种化油器中，汽油被油泵泵到含有一排油绳的腔室里，油绳便吸足了汽油，空气被引经这个腔室的上部，一种可燃性的混合气体很快形成，而且没有通常的喷嘴式化油器或表面化油器的任何缺点，“断续式”调速器也被采用，而且这种发动机是机械润滑的。这种化油系统有口皆碑，第一次世界大战以前一直成功地应用在所有的兰彻斯特汽车。上面所述的双缸发动机最初是风冷式的，两个飞轮各驱动一个风扇，后来则改成水冷式了。直到 1905 年以后，这种设计才被更为常见的发动机设计所取代，主要原因是当时流行着一种对卧式发动机毫无根据的偏见。

176

参考书目

Beaumont, W. W. 'Motor Vehicles and Motors' (2 vols). Constable, London. 1900, 1906.

Duncan, H. O. 'The World on Wheels.' Published by the author, Paris. 1926.

French, J. W. 'Modern Power Generators.' Gresham Publishing Company, London. 1908.

Hasluck, P. N. 'The Automobile' (trans. from 'Manuel théorétique et pratique de l'automobile sur route' by G. Lavergne). Cassell, London. 1902.

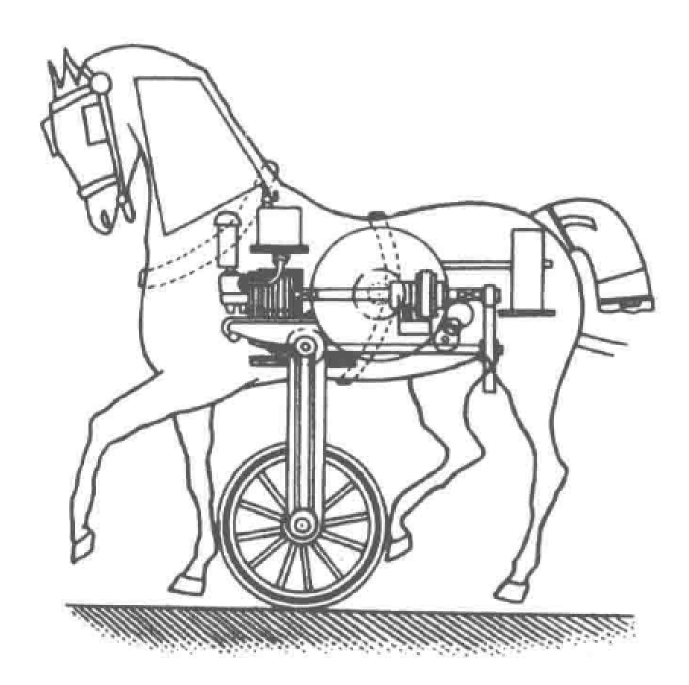
Jenkins, R. 'Motor Cars and the Application of Mechanical Power to Road Vehicles.' Fisher Unwin, London. 1902.

Kennedy, R. 'The Book of the Mobor Car.' Caxton Publishing Company, London. 1913.

Robinson, W. 'Gas and Petroleum Engines.' London. 1890.

Smith, G. G. 'The Modern Diesel.' Iliffe, London. 1944.

Young, A. B. F. 'The Complete Motorist.' Methuen, London. 1904.



汽马：1897 年在法国取得专利的一种新型牵引车。



第3编

电力工业的兴起



第9章 发 电

C. 麦基奇尼·贾维斯(C. MACKECHNIE JARIVS)

9.1 早期的电能源

1800年以前,电的来源是使用玻璃圆筒或玻璃板的摩擦起电机(第Ⅲ卷,图374)。人们借助这样的装置做了许多工作,特别是在电化学方面和创立静电学的基本理论方面。普里斯特利(Joseph Priestley,1733—1804)是最早对电流的化学效应进行系统研究的人之一。大约在1784年,卡文迪什(Henry Cavendish,1731—1810)通过在氢和空气的混合物中进行火花放电而合成了水。此外,荷兰化学家特罗斯特维克(Van Troostwijk)和戴曼(Deiman)也进行了类似的研究工作。

在实验性研究中,格雷(Stephen Gray,卒于1736年)考察了许多物质的电特性。他与其他一些人合作,演示了一种能沿着一根悬挂在丝线上的金属线传输到相当远距离的电荷放电现象。

借助于大型的摩擦起电机和莱顿瓶,金属线被熔断了,电流的热效应就此被发现。由这样的摩擦起电机产生的放电是难以控制的,因此,尽管在18世纪末期以前,这一直是人类唯一可以得到的电能源,并在实验室里得到了广泛的应用,但仍然不能实现商业应用。

1800年3月,在写给英国皇家学会会长班克斯爵士(Sir Joseph Banks)的一封信中,伏打(Alessandro Volta,1745—1827)描述了他的

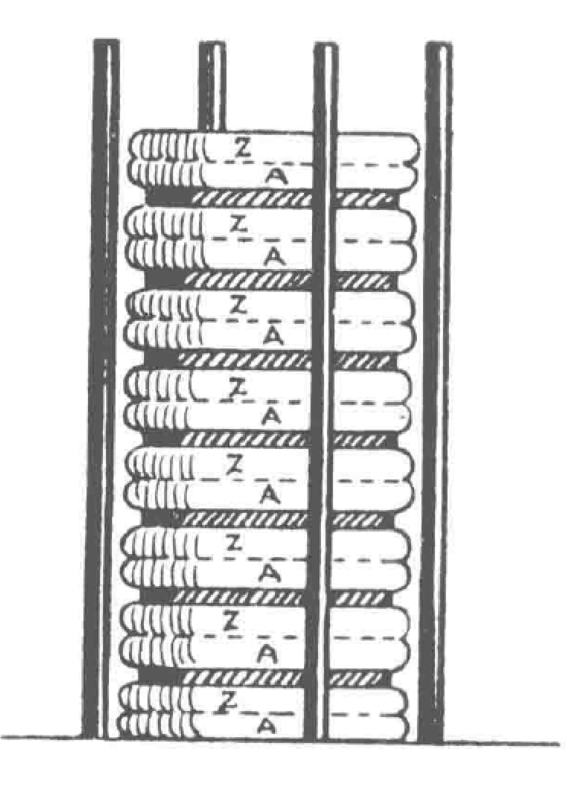


图 75　伏打电堆。
一对对圆形的锌片 (Z) 和银片 (A)(或铜片) 被浸透着盐水的法兰绒布片或纸片所分隔。用导线将最上端的锌片和最下端的银片连接起来，一股电流便流过此导线。

重大发现，即一种由置于碱、盐或酸等电解液中的不同种类的金属板构成的电池能够产生电。不久，这一发现公布于世。伏打电池或称“伏打电堆”(图 75) 的出现恰逢其时，被人们欣然接受并迅速地得到了发展，因为在欧洲一些主要科学研究机构的实验室里工作的“电工们”早已把摩擦起电机的潜在能力发掘殆尽。短短的几个月内，克鲁克香克 (William Cruikshank，1745—1800) 应用“电池槽原理”(trough principle) 把伏打电堆转变成了一种很有效的电池。人们通常认为，是他设计制造了伦敦皇家科学研究院实验室里的第一个大型原电池。

19 世纪初期，汉弗莱·戴维爵士 (Sir Humphry Davy，1778—1829) 在通信中多次提到“在伏打先生的电堆的端子间产生的火花”的特性。1802 年，他更是明确指出：“当用经过充分焙烧的碳棒来代替金属时，火花仍然很大，而且发着清晰明亮的白光。”从 1809 年起，电弧的演示一直是公开讲学的常规项目。正如后面将要讲到的，人们早在 1845 年就已下定决心，努力把电力照明扩展到一个商业规模。所有这样的尝试全都失败了，因为当时已知的适于这个目的的电源只有原电池，它的维护费用昂贵得无法接受。

1820 年，丹麦科学家奥斯特 (H. C. Oersted，1777—1851) 宣布通电导体周围存在着磁场。在一本拉丁文的小册子里，他描述了对通电

导体附近小磁针运动现象的观察结果。

奥斯特的工作立刻启发了许多科学家，促使他们进一步有所发现。例如，安培（A. M. Ampère，1775—1836）提出了关于电流和磁铁间的相互电动作用力的最初理论，阿拉戈（D. F. J. Arago，1786—1853）、塞贝克（Seebeck）和其他一些人则提出了制造原始的电磁铁的方法。法拉第（Michael Faraday，1791—1867）也在笔记本上写下"将磁转变成电"。1820 年 9 月，胸有成竹的阿拉戈在实验室里制出了第一个电磁铁。在其他地方，几乎也同时宣布了类似的成果。最先制出实用电磁铁的人当推斯特金（W. Sturgeon，1783—1850），1825 年在伦敦展出了自己的发明，由此受到（皇家）艺术学会的奖赏。在皇家科学研究院的实验室里工作的法拉第不仅验证了奥斯特的实验，而且还推想如果一根装在枢轴上的磁针在有通电导体的情况下倾向于运动的话，那么把这样的导体（让它能自由运动）放进一个固定磁铁的磁场中，应该能观察到类似的运动。最终，他在 1821 年末发明了能演示这两种运动的装置。

法拉第熟悉阿拉戈在 1825 年所进行的一些实验，其中一个实验是对一根磁针作适当的屏蔽，以消除因空气搅动而可能引起的运动，然后在磁针的下方转动一个扁平的铜圆盘，磁针会随着圆盘而旋转。在 1825 年到 1831 年间，为了将磁转变成电，法拉第进行了一系列不成功的尝试。最后一年里，他有了一种新的想法，因而在相对较短的时间内获得了成功。

1831 年 11 月 24 日，法拉第在皇家学会宣读了一篇论文，宣布发现了电磁感应现象。此后，他把研究的注意力转移到了其他方面。他个性独特，对任何有商业化倾向的事情都毫无兴趣，把应用这种很有前途的新理论的事情留给了他的同代人。当时不缺发明家，于是从 1832 年起，不断涌现出各种各样永磁发电机的设计方案。

9.2 最早的机械式发电机

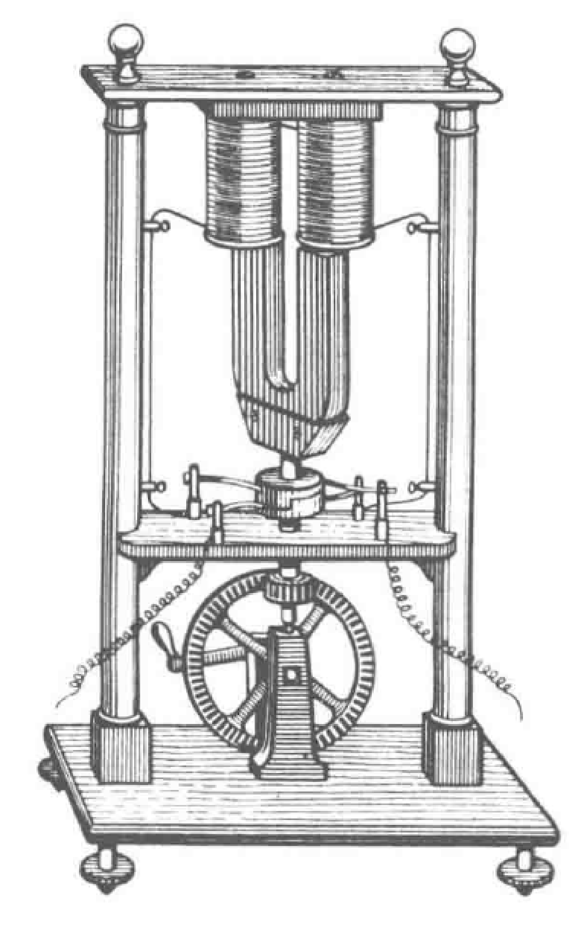


图 76 皮克西的手摇式永磁发电机，约 1833 年。该发电机安装了一个由安培所建议的整流子。

对 1832 年的情形可以作如下简单概括。当时的人们已经知道，电流通过导体时会在导体的周围建立起磁场。如果把这样的导体绕在一块软铁上，软铁会在通电期间暂时被磁化。同理，如果这是一块经过锤击而变硬了的铁，它就会在一定程度上被永久地磁化。当时已经建立了磁力线的概念，并且知道线圈在永久磁铁磁场中的旋转会在线圈内产生电压。另外，法拉第还演示了“变压器”效应（边码 198），但他可能还没有完全理解这种效应。

众所周知，我们现在所论述的这种发电机由两部分组成。一部分叫磁场体系，在早期的发电机中，它是由单个或复合的永久磁铁组成的；另一部分叫线圈体系，电就是在这一体系内产生的。两个体系的相对运动是发电的必要条件，至于是磁铁旋转还是线圈旋转则无关紧要。事实上，这两种结构都被采用过。

永磁发电机 在法拉第的实验室演示之后，皮克西（Hippolyte Pixii）1832 年在巴黎公开展出了第一台永磁发电机（图 76），磁铁相对于线圈旋转。它是手摇驱动的，虽然只不过是一台工作模型，却是根据法拉第理论制造出来的第一台可用的发电机。很快，更多的发明者一个接着一个地涌现出来，我们不可能一一记录，但是，下面的简要介绍足以说明永磁发电机的发展过程。

180

1833年，萨克斯顿（Saxton）在英国科学促进会的剑桥会议上展出了一台类似的手摇式发电机。在这台发电机中，部件的安装反了过来，线圈在一个固定磁铁的磁场中旋转。从此，这种方式被广泛采用。

大约也在这一时期，按照安培的建议，皮克西在他的一台改进型发电机上安装了一种简单的整流子，目的是把线圈的振荡输出或称交流输出转换成一种单向电流或称直流电流。用这种发电机得到的电流必然还是脉动的，而且在比较大型的发电机中，这种脉动电流会导致发热，从而带来麻烦。

克拉克（E. M. Clarke）或许最早以一种商业规模制造这些早期发电机，他在19世纪30年代以科学仪器制造商的身份在伦敦从事经营。克拉克发电机的构造（图77）不同于原先的发电机，线圈在一个平行于磁铁侧面的平面中被驱动旋转。第一台这样的发电机大约在1834年制造，很可能是打算作为一种为实验室实验所用的方便电源，因为其电压高于那些可由化学电池得到的电压。克拉克可能是第一位对不同类型的线圈进行实验的人，而且很快就做到了能够按照用户的要求来改变输出电压。

从电科学的早期开始，18世纪所谓的“电流体”与其他许多实在的物质一样，被认为具有有益于人类健康的性能。在维多利亚女王时代的前期，以永磁发电机的名义提出的关于新型医疗方法的专利申请变得很流行。因此，克拉克和他的同时代人制造出大量的手摇发电机也就不足为奇了。

病人手握一对金属手柄，可以靠改变手柄转动的速率来控制通过他身体的电量。对于某些发电机，也可以用一根铁合金条形成一个磁分流器来进行控制。当这个磁分流器运动着经过磁极时，就改变了外部磁场的强度，从而改变了发电机的输出。许多年长的读者会回忆起这些童年时代见过的东西，当时称为“蓄电机”（electric

batteries)。

从1843年起，莱比锡的施特尔（Stoehrer）制造了一系列改进型发电机。这些改进包括采用三个组合在一起的马蹄形磁铁，而不是一个马蹄形磁铁，而且三个磁铁的位置能使它们与一个六极电枢一起起到变倍的作用，电枢上的线圈则在这些磁极的前端扫过磁场。1846年或其前后制造的这种类型的一台发电机，如今陈列在伦敦的科学博物馆里（图78）。

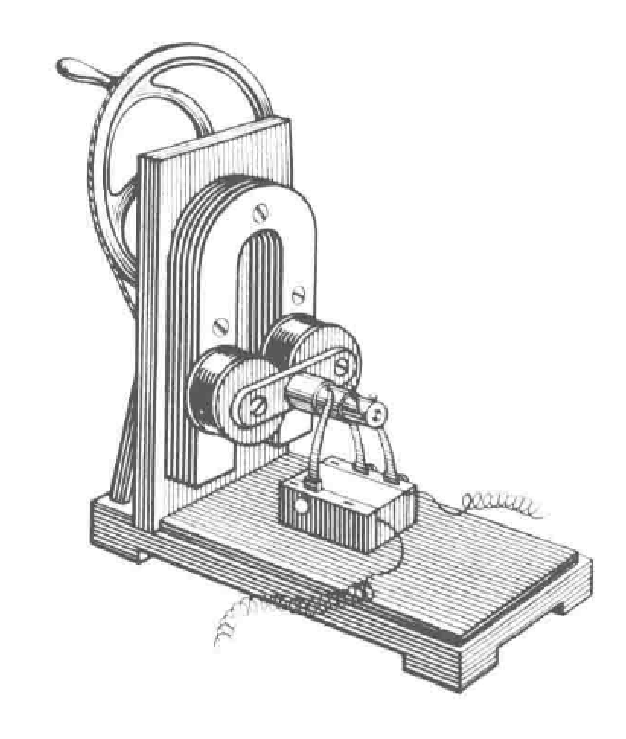


图77 克拉克的具有整流子的手摇式永磁发电机，约1834年。

有了这个坚实的基础之后，对机械结构和电气效率进行充分改进，以便让这样的发电机能够直接或间接地与当时已经出现的动力形式结合起来，显然只是一个时间问题。

灯塔照明 诺莱（F. Nollet，1794—1853）也许是第一个考虑制造一种动力驱动的永磁发电机来提供相对较大的电力输出的人。大约在19世纪中叶，英国、法国都为增加灯塔的照明功率进行了坚持不懈的努力。当时已经发明了石灰光灯，后来被称为德拉蒙德灯（Drummond light）。到了1850年，这种灯成为幻灯机

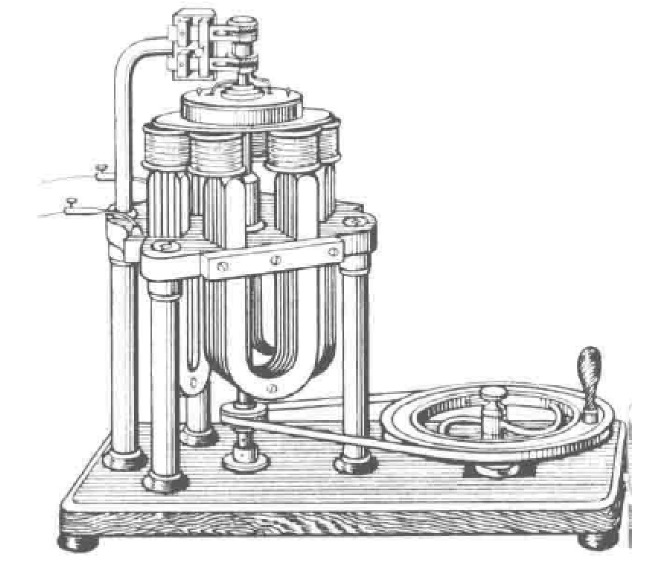


图78 莱比锡的施特尔制造的手摇式永磁发电机。尽管我们知道应该展示从1843年起就开始制作的类似的发电机，但图中所示的模型可能是在1846年之后出现的。

的一种照明手段。这是一种高亮度的略带白色的光，是把一块石灰放在氢氧火焰中燃烧成白炽状而产生的。诺莱想把这种石灰光灯用在灯塔上，并打算用一种强电流发电机来电解水，以便产生为此需要的大量氧气和氢气。从 1850 年起，他在法国取得了关于一种永磁发电机的几项专利。在这种发电机中，一个带有线圈的转动部件在一些马蹄形磁铁的磁极之间旋转或紧挨着磁极旋转，这些马蹄形磁铁以这个转动部件为中心呈辐射状排列。

1853 年，诺莱去世以后，他的财政支持者建立了联盟公司（*Compagnie de l'Alliance*）开发那些专利。他们在发电机研制方面遇到了困难，便邀请英国人霍姆斯（Frederick Hale Holmes）来帮忙。实验持续了好多年，尽管事实上这些发电机的性能令人满意，但公司最终还是破产了。虽然联盟公司被清理了资产，但是它后来东山再起，连续多年从事发电机制造（图 79）。霍姆斯在联盟公司工作期间，积累了许多关于这些早期发电机的有价值的经验。回到英国以后，在 1856 年及以后的几年中，他获得了一些关于永磁发电机及有关设备的专利。霍姆斯确信，用发电机代替化学蓄电池，一定能使电弧的照明性能得到令人满意的应用。为此，他向领港协会的行政委员会（Corporation of Trinity House）提出了明确的建议（1857 年）。作为该行政委员会的科学顾问，法拉第接受了咨询，并在布莱克沃尔附近的领港协会码头与泰晤士河对岸的伍利奇之间，对霍姆斯的建议进行了小规模的试验。

182

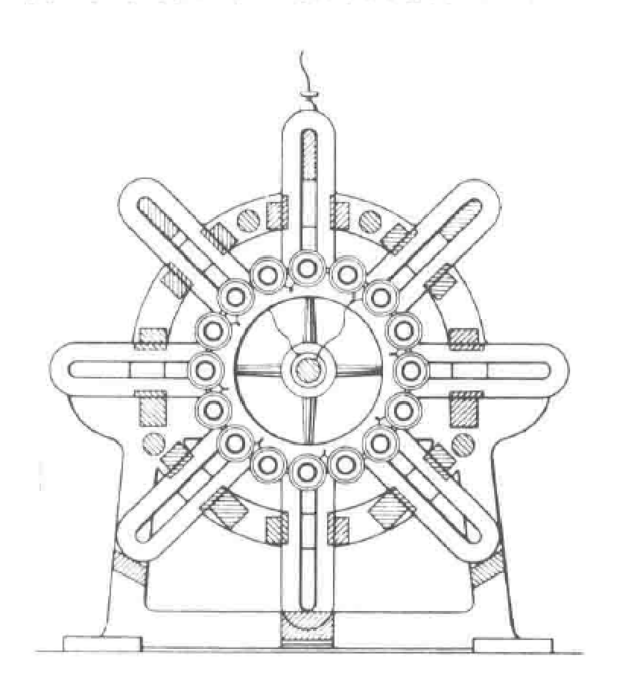


图 79　联盟公司的多极永磁发电机的结构示意图，其年代可追溯到 1855 年。

一份有关这次试验所用发电

机的说明有幸保存了下来。这台磁铁旋转型发电机用了 36 个 U 形磁铁，6 个一组，规则地沿着各个互不相连的圆盘的周边安置，磁极向外。这些圆盘装在同一根钢轴上，在它们之间的间隔中安装着固定不动的线圈，线圈间隔距离与磁铁的间隔距离相匹配。当旋转磁铁的磁场扫过线圈的表面时，线圈内便感应出电流。发电机上装有一个整流子，以给出直流电流。这台机器十分庞大，占地约 5 平方英尺，重 2 吨，效率很低。当用一台速度为每分 600 转的蒸汽机来驱动时，发电机的输出功率还不到 1.5 千瓦。尽管如此，这台发电机毕竟使霍姆斯的主张得到了验证。领港协会的主持会（Brethren of Trinity House）在收到法拉第热情洋溢的报告之后，下令在南福兰角灯塔进行全面试验。法拉第在报告中说，霍姆斯在布莱克沃尔所用的迪博斯克弧光灯（Duboscq arc-lamp），发出的光是"如此地强烈，如此地厚实，如此地凝聚，如此地没有暗影和晃动，以至于人们不能不期望着它的成功"。

关于灯塔的照明问题，将在第 10 章再做讨论。在此，我们只是提请读者注意，是霍姆斯大大发展了永磁发电机。霍姆斯为 1858 年 12 月开始的著名的南福兰角试验设计了一些发电机，回到了诺莱那种比较令人满意的让线圈旋转而磁铁固定的设置。在霍姆斯的指导下，一些大型直流永磁发电机的直径达到 8 英尺，它们是为在邓杰内斯角灯塔进行进一步试验（开始于 1862 年 6 月）而制造的。

183

为森德兰附近的苏特角灯塔制造的其他一些发电机较小一些，高度为 5 英尺 6 英寸，占地 6 英尺 ×4 英尺 4 英寸，重 3 吨，但每台的输出功率都小于 2 千瓦。这些发电机由 7 组磁铁构成，每组有 8 个固定的复合磁铁，在这些磁铁的磁极之间旋转着 6 个圆盘，每个圆盘沿周边均匀地配置着 16 个线圈架。由于没有安装整流子，这种交流发电机输出的是一系列脉动。这些发电机从 1870 年到 1900 年一直在这座灯塔上运行，而且至今还仍然保存着。

与此同时，欧洲大陆的联盟公司为法国灯塔管理局（*Ádministration des Phares*）提供发电机，大约一直提供到1870年。此后，凭借相对较小的尺寸和较低的初始成本，格拉姆（Gramme）发电机（边码188）赢得了人们的宠爱。

9.3 电磁式发电机

为了合乎逻辑地继续叙述发电机的历史，我们有必要回顾一下1855年的情况，以便仔细思考一下那项授予丹麦人约尔特（Sóren Hjorth）的关于"一种改进的磁电式蓄电机（Magneto-Eelectric Battery）"的英国专利（第806号，1855年4月11日）的真正含义。当然，这是一台以电磁铁作为主励磁源的发电机。然而，这份专利说明书之所以具有特别的重要性，是因为它清楚地显示出约尔特比他的任何前辈都更接近于发现自励磁原理。其中的有关章节写道：

> 由电磁铁和电枢之间的相互作用，可以得到一个加速力。结果，由这个加速力所产生的电在数量和强度上，比以往用任何类似方法所得到的电都大得多。

184

没有证据表明当时曾造出过这种发电机，对它的专利说明似乎也没有引起什么评论，这可能是因为所描述的设计用当时的标准来衡量过于复杂，人们显然没有很好地理解它。

约尔特已经认识到采用电磁铁励磁系统的优越性。他的专利说明书的附图展示了一种有着一个旋转圆盘的发电机，圆盘上面设有一系列线圈，在两组电磁铁之间旋转，电磁铁上附加了一些永久磁铁，以进行起始励磁。

西门子的电枢 冯·西门子（E. W. von Siemens，1816—1892）看来最先认识到将电枢线圈置于高强度磁场内的优越性，并用H型电

枢或称两极梭形电枢实现了这一点。1856 年 9 月，梭形电枢作为一种手摇永磁发电机的特点，被收录在一种多用电报机的技术说明书中，在英国获得了临时性的专利。这项专利申请没有被正式批准，但是，那份说明书后来也按照惯例公开发表了。梭形电枢（图 80）在当时的许多小型发电机中得到了应用，它具有较高的工作速度，比霍姆斯和联盟公司型电枢的尺寸相对小些。在此后的几年内，冯·西门子肯定对他第一次专利申请的失误感到遗憾，然而，这并未阻止他威胁说至少要对那些采用了梭形电枢的人中的一个提起侵权诉讼。

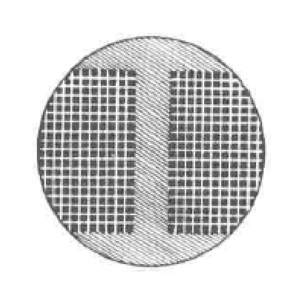


图 80　冯·西门子发明的 H 型或梭形电枢的剖面图，约 1856 年。

自励磁场 怀尔德（Henry Wilde，1833—1919）凭借电机的专利权所有者和制造商的身份而非常出名，他最重大的成果是在一份英国专利说明书（第 3006 号，1863 年 12 月）中描述的磁电式励磁机与电磁式发电机的一种组合。曼彻斯特的怀尔德公司（Wilde & Company）制造了一批这种类型的发电机（图 81），并且发现它们在电镀工业中非常有用。

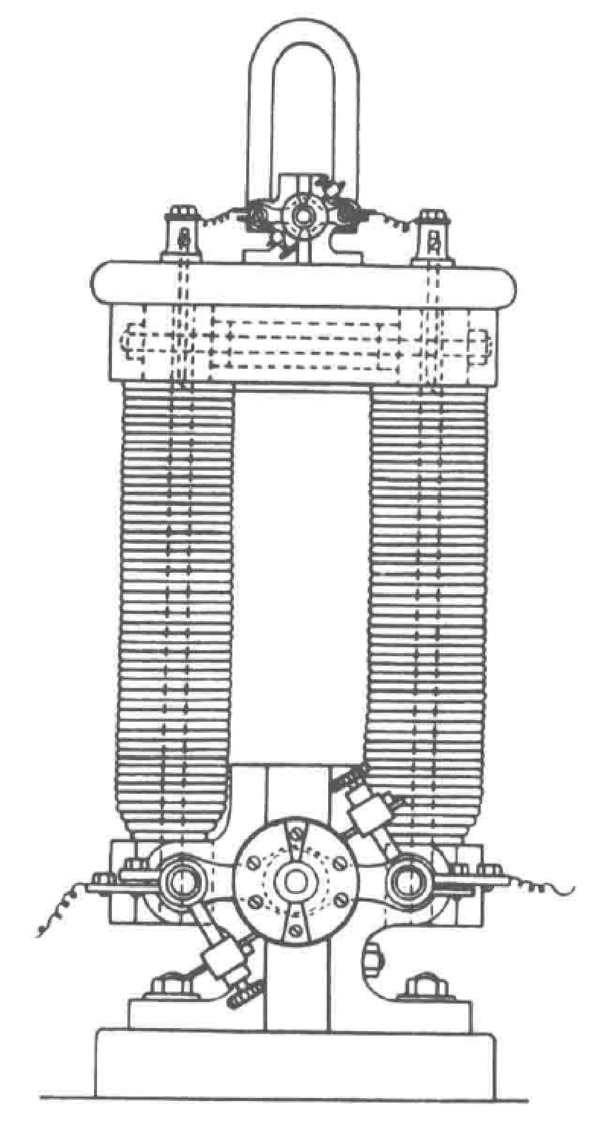


图 81　装有磁电式励磁机的怀尔德电磁式发电机，其年代可追溯到 1863 年。

到了 1865 年，事情开始向实现自励磁原理发展。1866 年初，在呈送给皇家学会的一篇论文中，怀尔德提到了“一种产生动电（Dynamic Electricity）的新型

大功率发电机”。他写道：

> 笔者专心研究了由法拉第关于电磁感应的伟大发现而引出的一些新的看似矛盾的现象。经过仔细的思考，终于找到了一种产生动电的方法，其数量用已有的任何装置都无法达到。笔者发现，极其少量的动电或磁是可以引发出极其大量的动电的。

今天，人们似乎很难相信，当时的怀尔德竟然不知道在电磁铁的磁极处存在着剩磁，也很难相信他竟然没有察觉他的发电机天生就具有他所需要的“极其少量的磁”。

与此同时，其他一些人也在致力于研究电学的发展。1866年12月，瓦利（S.A.Varley）发现了自励磁的奥妙（图82），并且申请了一项关于“发电方法和设备的改进”的专利。在这项专利中，他描述了一种靠磁场体系的剩磁进行工作的自励发电机。这项专利解释道，在使用此装置以前，“通过电磁铁线圈的电流就已经使磁铁的铁芯获得了少量的永久性磁性”。

遗憾的是，直到第二年的7月，瓦利的专利说明书才被公布。在此期间，冯·西门子在1866年12月向柏林科学院呈送的一篇论文中，阐述了在不用永久磁铁的情况下，把机械能转换成电能的方

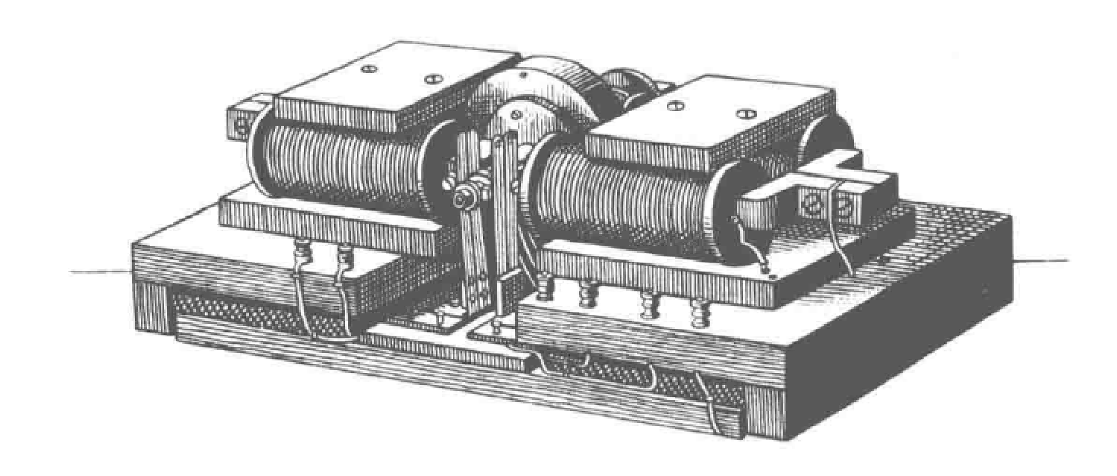


图82　瓦利的自励电磁式发电机，1866年。

法，并且引证了瓦利曾经引用过的相同的原理。几个月以后，这篇论文才印刷发表。不过，在1867年2月14日的英国皇家学会的会议上，冯·西门子的弟弟威廉·西门子（William Siemens）传达了这篇论文的内容，并且用一台手摇式发电机模型演示自励磁原理。

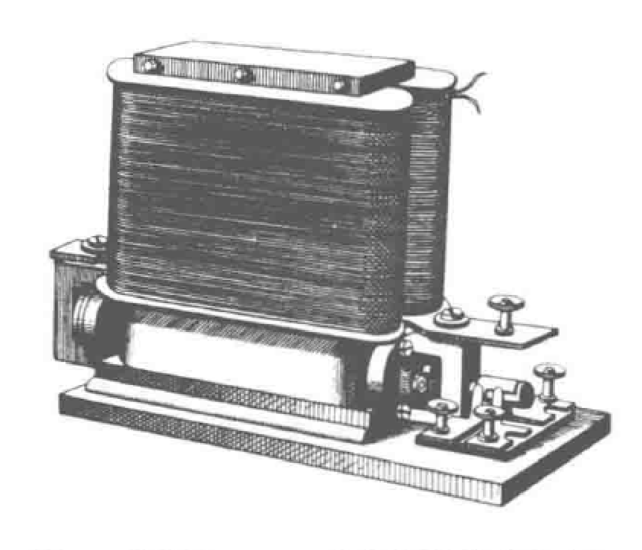


图83 施特罗（A. Stroh）为惠斯通制作的自励电磁式发电机，1867年。

同天晚上，惠斯通（Charles Wheatstone，1802—1875）也提交了一篇关于这一课题的论文，同样展示了一台工作模型（图83）。怀尔德参加了那天晚上的会议，并在事后解释说，“前一时期做的与西门子、惠斯通类似的实验的结论是，根据我们电学知识的现时状况，当电磁铁被断续电流励磁，要想利用通过电磁铁线圈后的电流，困难是不可克服的”。这里说到的“断续电流”起源于这样的事实——这一时期的发电机都是用西门子电枢和两片式整流子制作的，产生的是一种单向脉动电流。这种脉动增加了磁场绕组特别是在高速运转时的阻抗，而人们发现使用H型电枢时可能实现高速运转。作为一位发电机制造商，怀尔德对这一问题的态度是以他的经验为根据的。事实上，在格拉姆型发电机流行之前，大多数出于商业目的而制造的发电机，都采用了分离的励磁机来建立主发电机的磁场。

毫无疑问，怀尔德在1866年4月提交皇家学会的那篇论文激励了他的同代人。正如我们已经知道的那样，它导致了几位独立的发明者几乎同时发现了关于自励磁的重要原理。

这时，在术语方面出现了一些有趣的发展。包括怀尔德在内，这一时期的几位作者都提到了动电（dynamic electricity）的概

念，意思是靠旋转运动产生的电。1867年，布鲁克（Charles Brooke，1804—1879）在皇家学会宣读论文时，第一次使用了动电发电机或电动发电机（dynamo-electric）这一复合词，在一种普遍的意义上用这一术语来囊括所有将机械能转换成电能的机器。对于相反的作用，他用术语电动（electro-dynamic）来定义电动机的作用。布鲁克的文章还列举了一些他认为是电动发电机的例子，例如霍尔茨（Holtz）的玻璃板起电机和“怀尔德、惠斯通、西门子以及莱德（Ladd）的同源的发电机”。

在此后的几年内，自励式发电机应用广泛，人们普遍赞同把它称作dynamo-electric，或者更为简要地称它为dynamo。由于大多数早期的发电机是直流型的，dynamo这一术语变成专指这种类型的发电机。对于另一种类型的发电机，稍后采用交流发电机（alternate-current generator）这一术语，再晚一些时候就用alternator了。技术论文的作者们逐渐使用dynamo-electric这个术语，把具有电磁铁或绕组磁场系统发电机与永久磁铁型的发电机区别开来，后者则继续被称为永磁发电机（magneto-electric）。

187

大约40年以后，围绕自励发电机的发明优先权问题以及是谁首先使用dynamo-electric这一术语的问题，发生了一场激烈的争论，冯·西门子和怀尔德都提出了对于这一优先权的要求。然而，这一时期内在电气技术方面所取得的进步，绝不能仅仅归功于上面提到名字的先驱者。有充分证据表明，法拉第和他的同代人所做过的经典实验，在欧洲大陆和美国的一些实验室里被人们常规性地反复做过，因而可以推想，在我们提到的那几位较有名望的人之前，人们已经有所发现了。

其他一些早期的设计师 科学史上充满了这样的事例，有些人并没有认识到自己工作的重要性，有些人则不愿意发表他们的工作成果，最终没有得到应有的声誉。近些年，耶德利克（Anyos Jedlik，1800—

1895）因为他的同胞维尔贝利（Verebely）以及匈牙利电气技术学会（Hungarian Electro-Technical Society）的努力而变得知名了。耶德利克是天主教本笃会（Benedictine Order）的成员，后来成为布达佩斯大学的物理学教授。可以断定，他在1861年发现了动电发电原理，当年就把这一原理用到一台为他制造的自励式单极发电机上。虽然耶德利克发表过一些科学论文，其中有些是电学方面的，但是，他在发电机方面的研究工作似乎没有被他的同时代人所了解。

另一位早期的开拓者是马萨诸塞州的法默（Moses G. Farmer），他后来成为美国早期的电器制造商之一。法默与怀尔德有通信联系。1866年11月9日，他在给怀尔德的信中透露自己也发现了自励磁原理：

> 我制作了一台小型发电机，其中一股来自热电池组的电流使你的发电机上的电磁铁励磁，并使发电机启动。发电机运转之后，来自永磁发电机（即电枢）的电流的一个分流，便通过它自己的电磁铁而提供了所需的磁力。

通常认为，在直流发电机中第一个利用分流电路的人是惠斯通，但是，上面的这封信却显示法默至少比惠斯通早了几个月。

188

前面已经指出过（边码184），冯·西门子的带有两片式整流子的两极型（也叫H型）电枢专门用在这一时期的直流发电机上。它产生一种由一系列脉动组成的单向电流，如同今天的半波整流器所产生的电流。这种快速脉动的电流使得磁场体系和电枢中的实心金属芯内产生涡流（又叫环流），进而产生了有害的热量。因此，早期的发电机往往是水冷式的也就不足为奇了。

早在1860年，比萨大学的物理学教授帕奇诺蒂（Antonio Pacinotti，1841—1912）就发明了另一种类型的电枢（图84），目的是向学生演

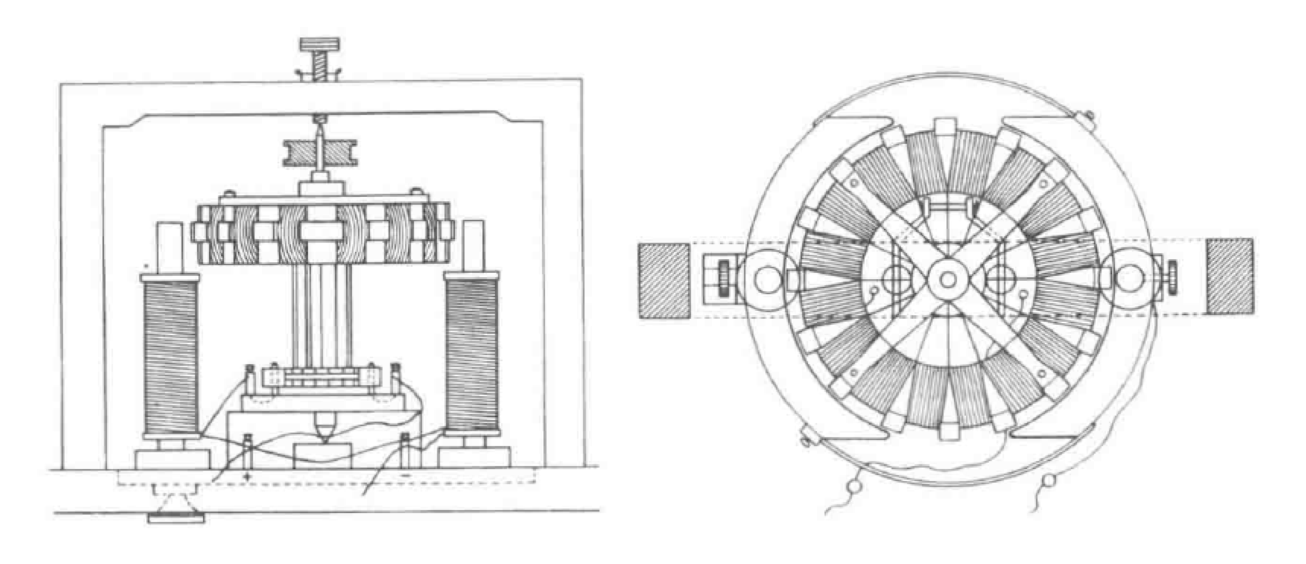


图 84　装有环形电枢和多片式整流子的帕奇诺蒂电磁式发电机（左），1860 年；显示出齿轮式电枢构造的平面图（右）。

示一种根据动电发电原理进行工作的装置具有可逆的作用。这一装置展示出了一些新奇的特点，包括具有齿轮或环形结构的电枢、多个电枢线圈以及多片式整流子。它的磁场体系设计为可以用一个蓄电池进行各自独立的励磁，于是它既可以作为电动机，又可以作为直流发电机。1864 年，一家意大利杂志描述了这一装置，不过看来当时它未能引起更多的注意。

9.4　格拉姆型电枢及其后继者

今天，人们普遍承认，制造第一台能够产生真正连续电流并具有实用尺寸的直流发电机（图 85）的荣誉应归于格拉姆（Zénobe Théophile Gramme，1826—1901）。格拉姆是比利时人，在巴黎生活和工作了许多年，1870 年公布了第一台发电机。它使用了一个与帕奇诺蒂型电枢相像的环形电枢，电枢的芯由一个软铁丝线圈构成，为了减少涡流，绕线圈时用沥青来绝缘。在这样制作的环形芯子上，又绕了一系列铜绝缘线圈，线圈的相邻端头连在一起，形成一个连续的绕组，绕组的接头则被引出到整流子的环片上。这种电枢在一个两极磁铁系统中旋转，这一点与先前的电枢没有什么原则

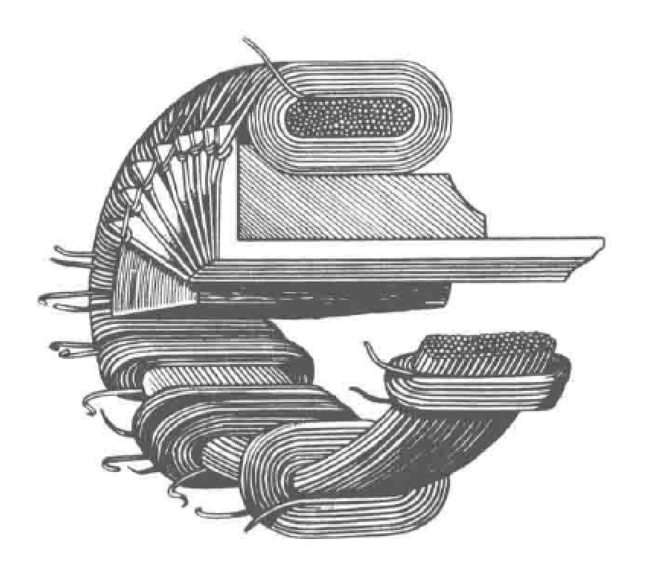


图 85　格拉姆的环形电枢，1870 年。
切去一部分以显示线圈在软铁芯上的环绕方式。

上的区别。

在作为制造商的初期，格拉姆就开始与有才能的同行们交往。他的成功无疑是因为采用了出色的机械结构，当然还有另外一个不可缺少的因素，这就是市场上长期以来一直在冀望一种令人满意的连续电流发电机，能够一直运行下去而不会过热。因为这一点，格拉姆型发电机的成功立竿见影。为了适应灯塔照明、电镀和工厂照明等各种不同用途的需要，格拉姆的直流发电机形式多种多样。公平地说，在这一时期中，法国在电气照明技术方面取得的进展比其他任何国家都大得多。多数格拉姆型发电机靠蒸汽机驱动，使用永久磁铁和电磁铁磁场体系的手摇式发电机则是专为实验室而制造的。

到 1873 年，技术的进展是如此之大，以至于格拉姆公司(Gramme Company)可以在威斯敏斯特的钟楼上安装一台发电机做公开试验(图 86)。试验持续了几个月，电弧灯与维格哈姆(Wigham)的改进型煤气灯展开了竞赛。1874 年，至少有两艘法国海军的主力舰和俄国海军的一些舰艇使用了格拉姆的直流发电机(图 87)。

圆柱形电枢　格拉姆发电机的成功引起了德国西门子公司同行们的关注，因为当时他们仍然在使用梭式电枢。1872 年，阿尔特涅克(F.von Hefner Alteneck)发明了圆柱形电枢(图 88、图 89)，当时他是西门子 – 哈尔斯克公司(Siemens & Halske)的总设计师。作为最初的构造，这种电枢由一些木质圆筒构成，圆筒的表面是用木钉固定位置的绕组。较后一种类型中，在装上绕组之前，先在木质圆筒上绕满铁丝。与格拉姆的环状电枢相比，圆柱形电枢在技术上更为优越，因为

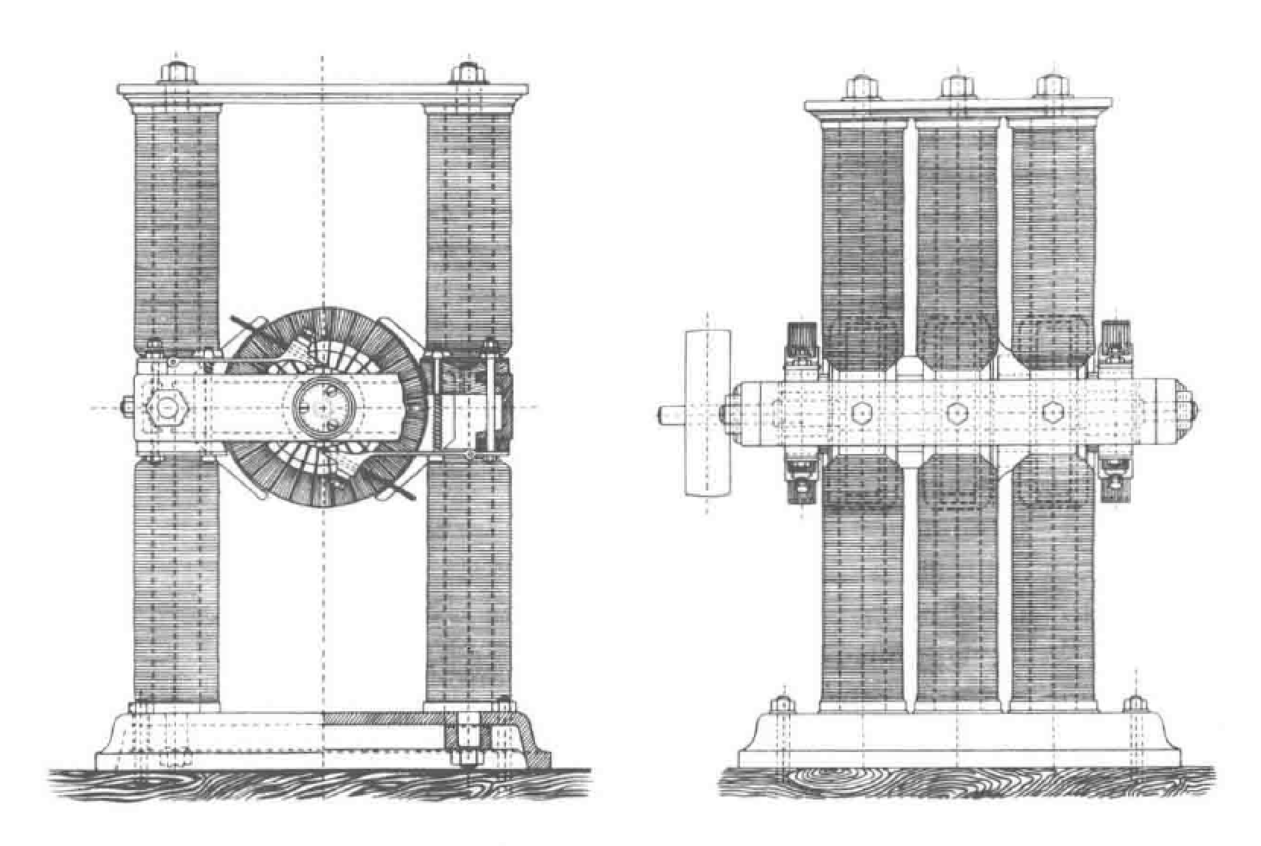


图 86 格拉姆型电磁式发电机，具有三重环形电枢，1873 年被用于威斯敏斯特钟楼上的信号灯。左图为侧视图，右图为端视图。

更多的绕组被有效地利用了，环状电枢中的每一圈的里边部分则不起作用。不能设想这种早期的圆柱形电枢不存在问题，因为在直流发电机设计的这个阶段，实践走在了理论的前面，通常用的是“试错法”。当时遇到的主要问题是整流子的电刷处出现较大的火花，还有就是电枢绕组的发热。由于圆柱形电枢制造起来比较简单，它逐渐取代了环状电枢。然而，在过了许多年以后，才找到了一种实现绕组与其他部件最佳组合的方法。 190

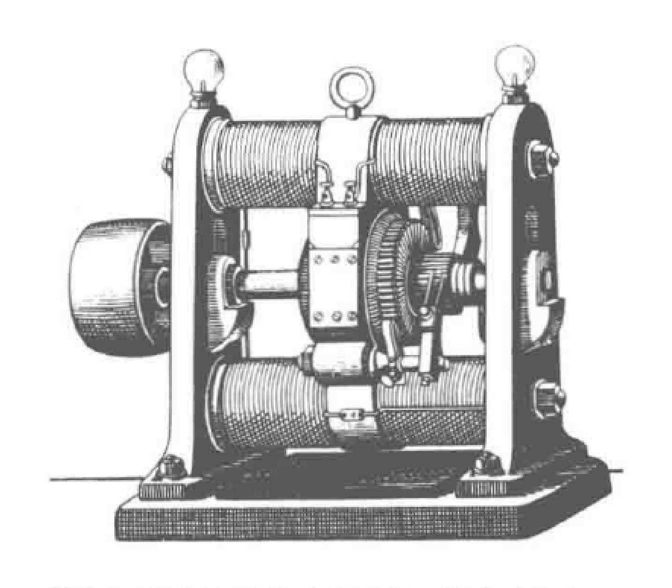


图 87 格拉姆 A 型直流发电机，约 1874 年。

另外一种值得特别注意的早期直流发电机是由巴塞尔的比尔京（Emil Bürgin）设计的（图 90）。它的电枢实际上是环

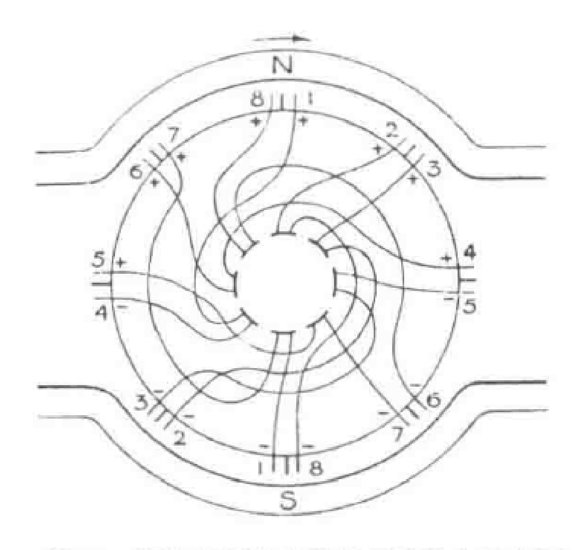


图 88　阿尔特涅克发明的圆柱形电枢的原理示意图，1872 年。

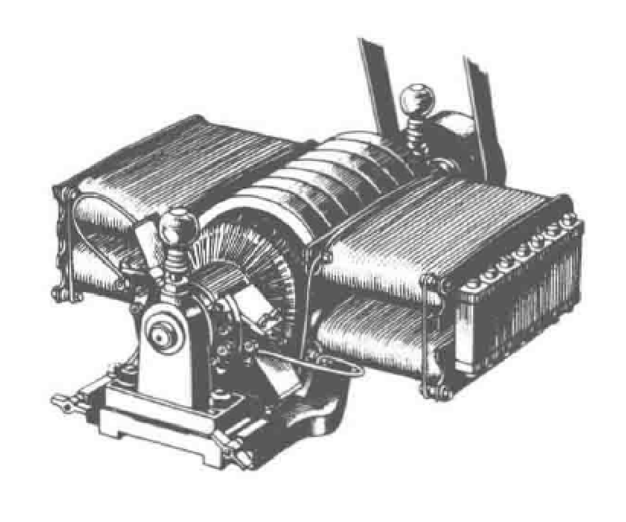


图 89　装有阿尔特涅克圆柱形电枢的西门子 - 哈尔斯克公司的直流发电机，1876 年。

191

形电枢的一种多电枢变种，由铁丝构成的四个或更多的一串矩形芯子装在一根公共的主轴上，矩形芯子的每一条边上各有一个独立的线圈。由于这种电枢的线圈直径比较小，而且绕组被分成串联起来的几个部分，这就减轻了绕组工作时的发热现象，因此用在格拉姆型直流发电机上可以使效率得到很大的提高。19 世纪 80 年代初，克朗普顿（R. E. B. Crompton，1845—1940）在英国发展了比尔京的直流发电机，在他的设计中，电枢芯子变成了六角形，环的数目也增加为 10 个（图 91）。

那时，欧洲和美国正在制造大量的直流发电机。所有这些发电机或是格拉姆型发电机的变种（如果不是直接仿制的话），或是由于它们结构的内在复杂性或糟糕表现而不能存在下去。在首先认识到电枢内有效磁路重要性的人中，包括瑞典发明家文斯特洛姆（Jonas Wenström），他是瑞典电气公司（Electrical Company

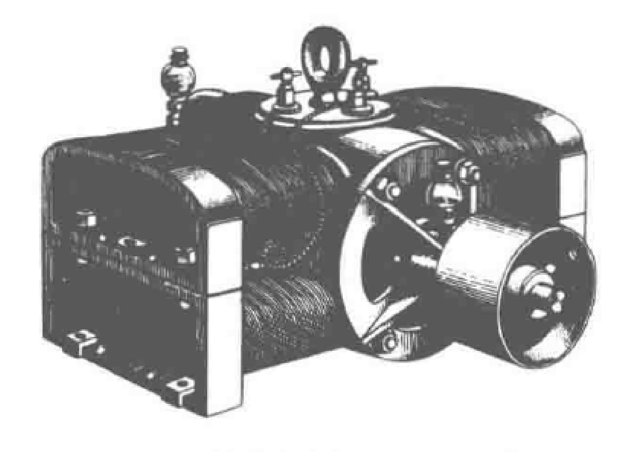


图 90　克朗普顿公司制造的比尔京型直流发电机，1881—1882 年。

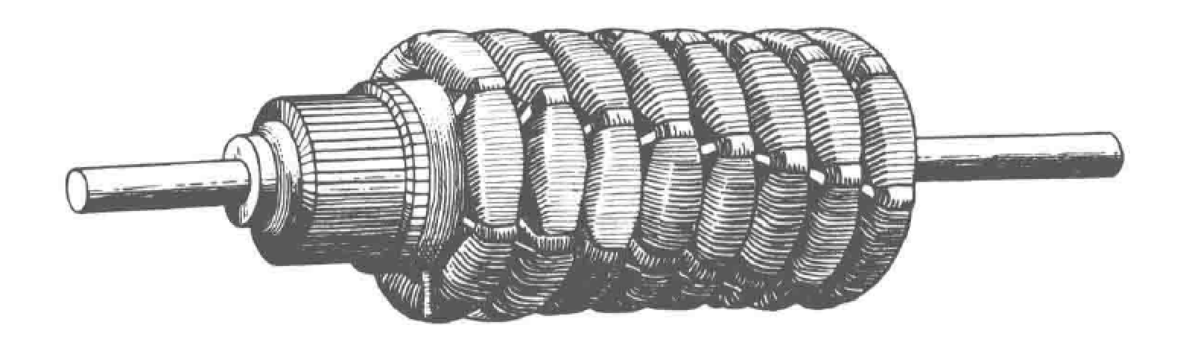


图 91　图 90 所示发电机的电枢，显示了多电枢式六角形"环状"绕组的布置方式。有时多达 10 个环。

of Sweden）的总设计师，也是最先把电枢导线嵌入电枢芯的线槽（或称沟道）中的人（图 92）。这在今天是一种几乎通行的做法。这项发明产生于 1880 年 7 月，1882 年取得了英国的发明专利。

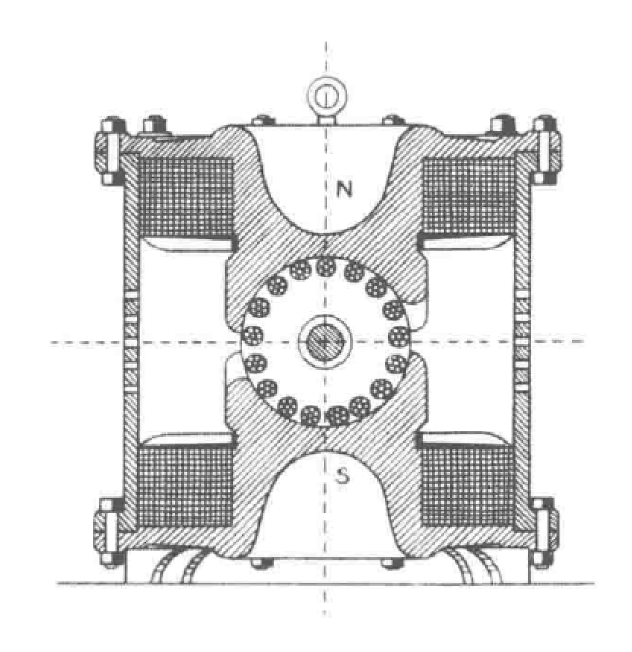


图 92　文斯特洛姆型直流发电机的剖面图，显示了开槽的电枢。约 1881 年。

虽然巴黎的皮克西在 1832 年制造的第一台永磁发电机是交流型的，但是后来这台发电机装上了整流子（边码 180），其功能是对发电机运转时所产生的电脉动加以整流（使之成为单向电流）。此后，应用于灯塔照明等方面的一些早期发电机大部分是直流型（或称整流子型）发电机。由于整流子及其电刷机构往往不可靠，加上 1862 年前后由霍姆斯等人所做的实验证明，用交流电供电的弧光灯作为照明器同样有效，因而为苏特角灯塔造的发电机是采用交流工作方式的（图版 10B）。

192

边码 182 处提到的霍姆斯型大型永磁发电机，其尺寸之大、分量之重，在下表中得到了进一步强调。

		类型	速度（转/分）	近似输出功率（千瓦）	重量（英担）	成本（英镑）
永磁式	霍姆斯型	交流	400	2	51	550
	联盟公司型	交流	400	2.3	36	494
电磁式	格拉姆 1873 型	直流	420	3.2	25	320
	西门子 1873 型	直流	480	5.5	11	265

9.5 交流发电机

可想而知，欧洲各地都采用了格拉姆型和西门子型直流发电机来进行灯塔照明。然而，这种情况未到十年就又发生了逆转。与后来的霍姆斯型和联盟公司型发电机不同，那些需要经常留心整流子和电刷机构的早期直流发电机当时不能被设计成交流工作方式。另一位法国开发者梅里唐（the Baron A. de Meritens）凭借一台永磁式交流发电机进入了这一领域，这台发电机采用了分布式绕组，使输出波形大大改善（图 93）。

在 1881 年巴黎万国博览会上展出时，这些最早制造于 1880 年前后的发电机十分引人瞩目，很快被作为标准的发电机在法国普及，还被领港协会安装到南福兰角灯塔和利泽德角灯塔上，据报告直到 1947 年时仍在使用中。梅里唐的发电机比霍姆斯为苏特角灯塔造的发电机要小得多，能以每分 830 转的速度提供 4.5 千瓦的电力输出。由于这种类型的发电机的造价在格拉姆型直流发电机的两倍以上，因此最终不再被人使用。

193

第一批不靠永久磁铁来励磁的交流发电机是怀尔德在 1867 年前后制造的，它的梭式电枢上带有一个双绕组。主绕组通过汇滑环给外电路提供电流，副绕组通过一个两片式整流子对磁场绕组励磁。励磁电流的脉动性使涡流加大，从而使发电机的实心电枢芯子发热，限制了这些发电机的发展。

大约在 1878 年，格拉姆和怀尔德都造出了环形绕组型交流发电机。随后，其他一些人也造出这样的发电机。格拉姆型发电机采用旋

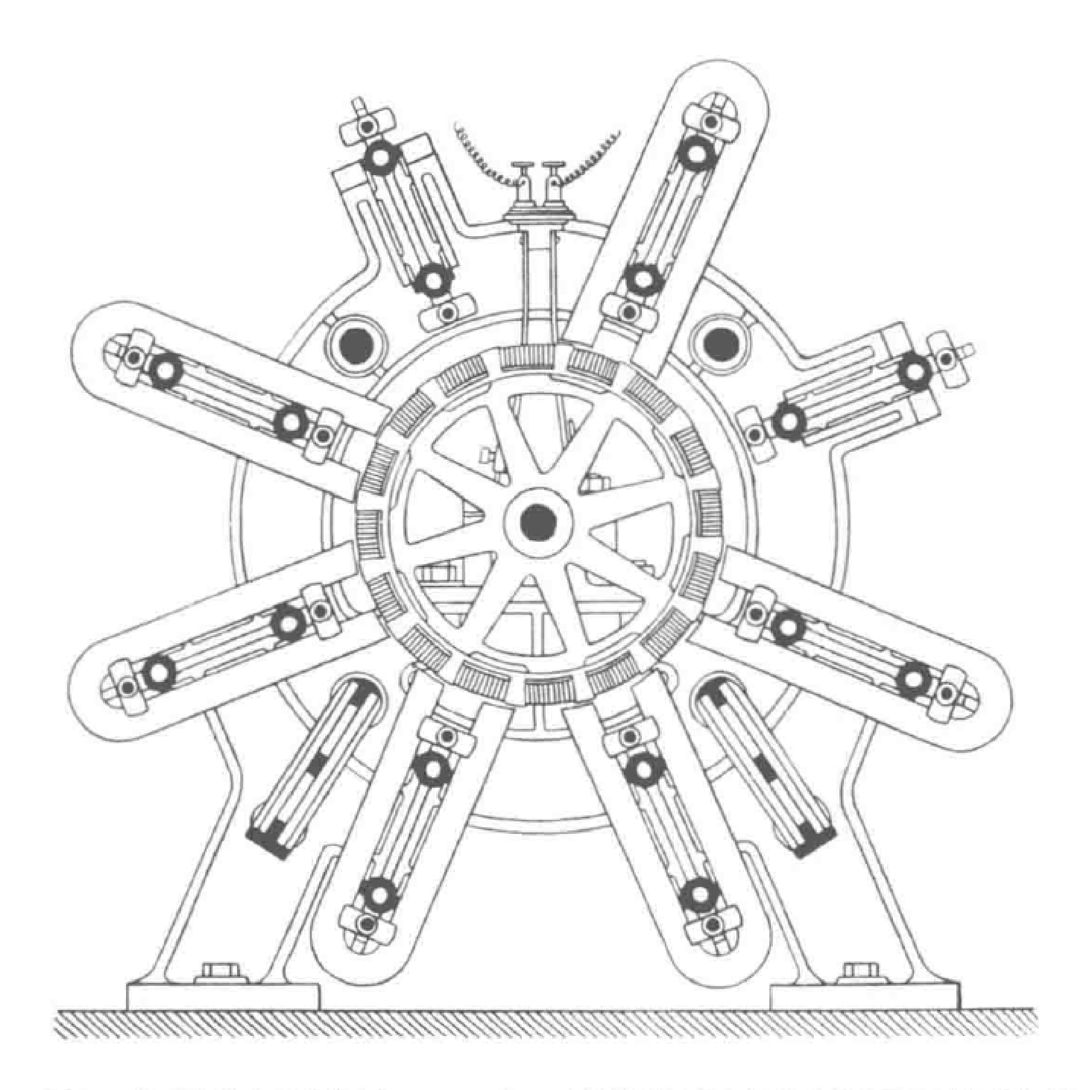


图 93　梅里唐的永磁式发电机，1881 年。这种类型的发电机被广泛应用于法国的灯塔。

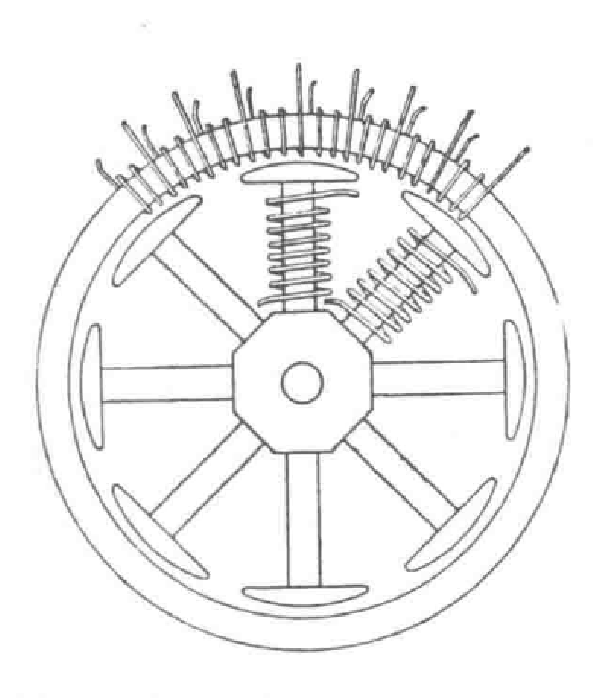


图 94　显示格拉姆型单相交流发电机构造的剖面图，约 1878 年。

转磁场结构，其励磁机是一个有着环形电枢的两极直流发电机，被安装在这台交流发电机的壳体内（图 94、图 95）。另一方面，怀尔德按照霍姆斯的传统做法，仍然把装在线圈架上的电枢线圈置于两个圆盘之间。

这种现在被称为转子的圆盘电枢，许多年来一直受到青睐。例如，西门子仿效怀尔德的旋转磁场交流发电机（图 96）时，也

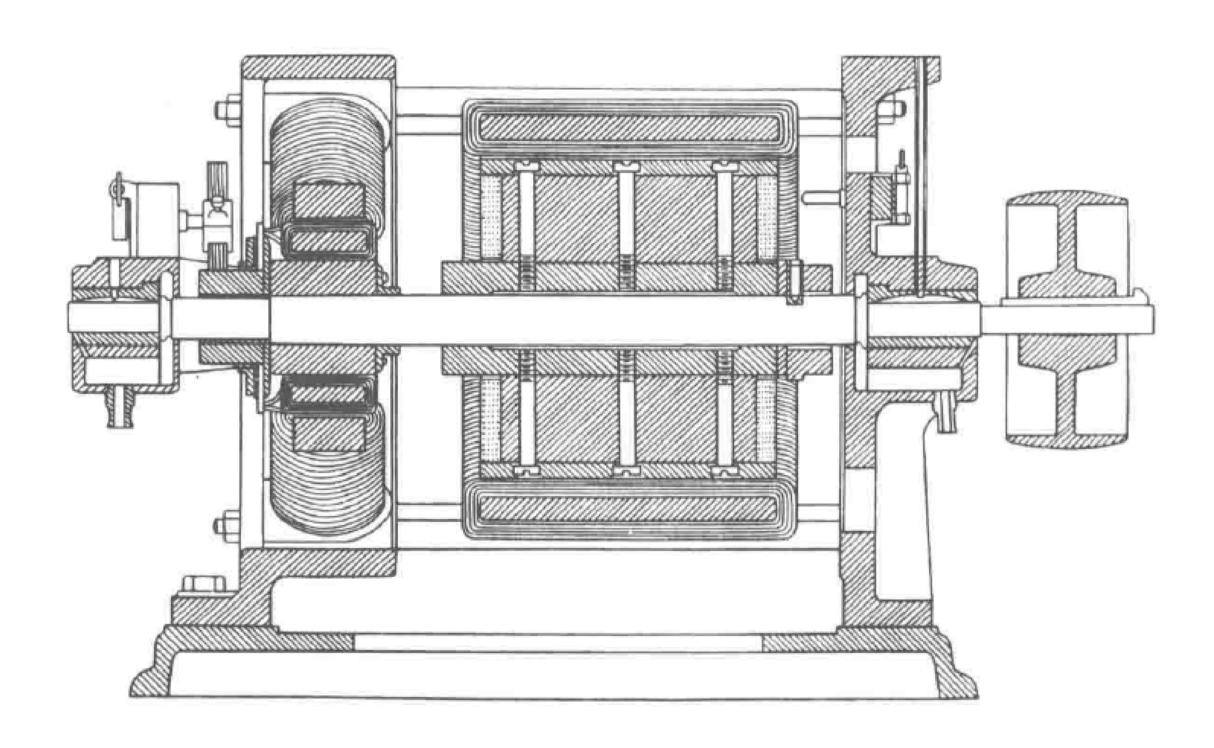


图 95 格拉姆型单相交流发电机的剖面图，显示出左侧有着环状电枢的励磁机和旋转磁场。约 1878 年。

采用了这种圆盘电枢，只是在旋转的线圈架的中央省略了怀尔德所用的铁芯。

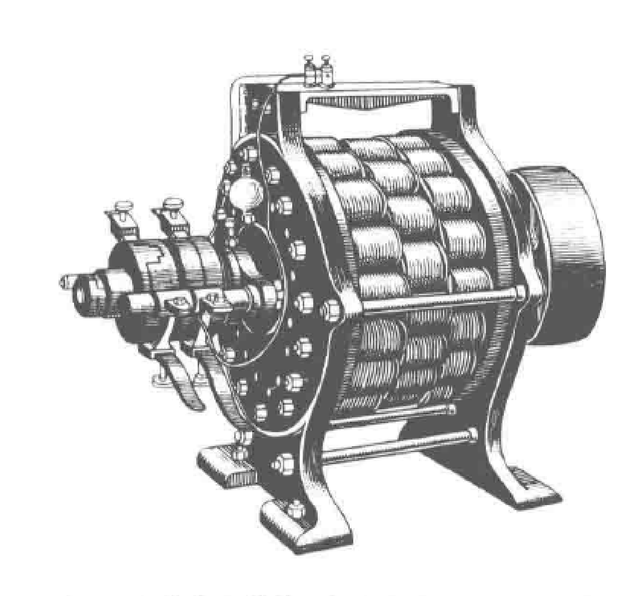


图 96 怀尔德的旋转磁场交流发电机，1867 年。

大约在 1881 年，汤姆森［William Thomson，后来的开尔文勋爵（Lord Kelvin，1824—1907）］提议对转子绕组进行改型，费朗蒂（Sebastian Ziani de Ferranti，1864—1930）则亲自进行了改型工作，转子绕组变成了用绝缘铜带绕成的连续绕组。在其他方面，费朗蒂－汤姆森的交流发电机尽管与怀尔德的发电机（1878 年）外表相似，但凭借合理的电路结构，取得了很大的成就。在费朗蒂的交流发电机上，之字形的转子绕组可以向外自由扩张，因此避免了其他制造者所遇到过的困难（图 97、图 98）。

194

大约在1882年，戈登（J. E. H.Gordon，1852—1893）设计制造了几台当时堪称最大的交流发电机，它们与实际中采用的典型发电机大不相同。三台这样的发电机为大西部铁路公司（Great Western Railway）帕丁顿终点站建造（图99），1885年前后投入运行，依靠蒸汽机组来驱动。据说，在输入每平方英寸160磅的蒸汽时，这一蒸汽机组能在每分146转的转速下输出600指示马力。这种旋转磁场型交流发电机的直径约为10英尺、重达20吨，这些发电机刚刚安装好时，发出的热量足以烧坏定子线圈，引起了很大的麻烦。采用层叠式铁芯后，得到了有效的改进。

莫迪（W. M. Mordey，1856—1938）设计的一种具有独特结构的发电机，由英美布拉什公司（Anglo-American Brush Corporation）1886年制造出来（图100）。在这台发电机中，由一台单独的励磁机供电的磁场线圈被置于两块钢制极靴之间。这两块极靴相隔一段间距随磁场线圈一起旋转，装载发电机主绕组的非旋转部分或称定子就位于这样形成的气隙中。这台发电机能输出波形很好的单向脉动电流，并且在若干年内颇受欢迎。同费朗蒂发电机一样，它既能提供高压输出又便于制造，适用于多个弧光灯电路的2000伏发电机的出现就变得理所当然。但是在接近满负荷的条件下工作时，定子线圈的发热使莫迪的“交流”发电机遇到了相当大的麻烦。这些线圈是不

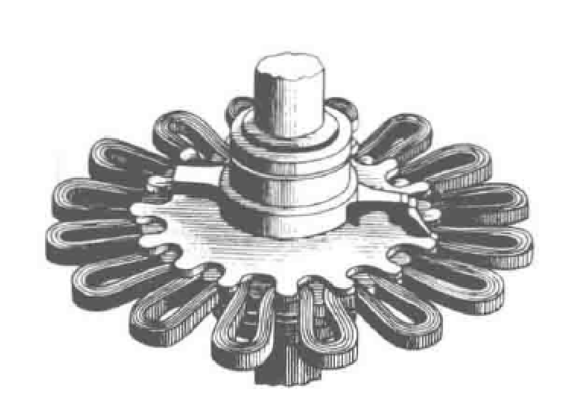


图97　费朗蒂高压单相交流发电机的转子。

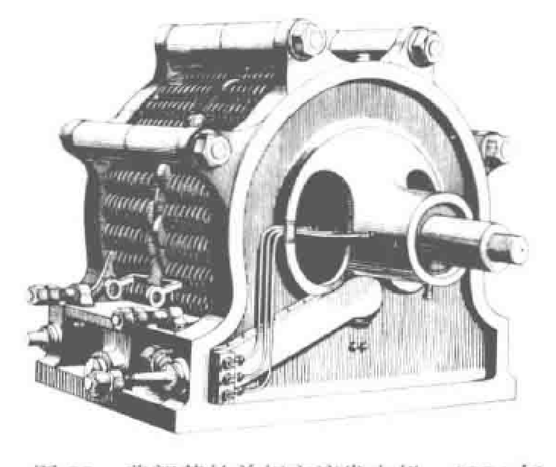


图98　费朗蒂的单相交流发电机，1884年。

图 99　大西部铁路公司帕丁顿站发电房的内景，约 1885 年。图中显示了大型的戈登型交流发电机。

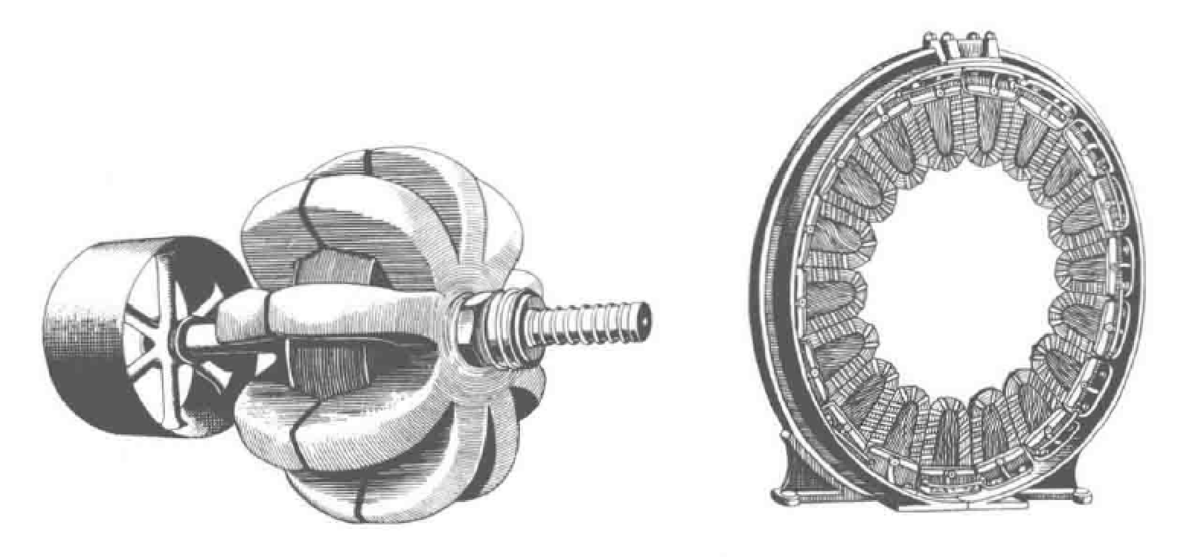


图 100　英美布拉什公司制造的莫迪交流发电机，1886 年。
(左)旋转磁场磁铁；(右)定子。

能向外扩张的，因而它们会发生侧向畸变，从而与转子碰撞。

9.6 电气照明

正如我们已经知道的那样，从1857年起，英国制造了有相当容量的发电机，从而使得用电弧灯进行灯塔照明变得切实可行。虽然弧光灯的公开展示日渐平常，但它在商业上的开发仍然受到限制，先是由于永磁发电机的成本高和输出功率有限，后是由于西门子和怀尔德的早期发电机很不完善。 196

格拉姆环式直流发电机是一种比较便宜的电源，19世纪70年代初期被广泛采用，最先使一般用途的弧光照明成为可行。这种类型的照明设备首先安装在欧洲大陆，最早出现在米卢斯的一家面粉厂和巴黎的北火车站（1875年）。在英国，首批弧光照明设备安装在欢乐剧院（Gaiety Theatre）（1878年）。我们将在第10章更充分地回顾这些历史发展，这里仅顺便提及弧光灯，又称“雅布洛奇科夫蜡烛”（Jablochkoff candle），1878年从巴黎引入英国，大大加速了电气照明的发展，从而增加了对发电设备的需求。

到1878年底，伦敦市的几位政府官员表示愿意试验性地安装弧光灯，为大量串联起来的弧光灯供电的高压发电机的需求出现了。然而，对于家庭照明来说，即使是最小的弧光灯也过于明亮，因而在1881年引入了斯旺（Swan）的灯丝灯泡，实现了低亮度的电气照明。自此开始，对电气照明的需求变得日益广泛，并因建造了一批私人发电厂而得到初步满足，这些电厂都是专门面向个别工厂或建筑物的供电需要而设计的。 197

9.7 电站

此时，人们认识到电作为一种用于工业目的的动力源和一种用于一般照明的媒介的潜在能力，但是，在应当采用小功率还是大功

率的发电装置这一问题上，依然存在着尖锐的意见分歧。1882年1月，为私人用户供电而建造的第一座电站开始运行，这就是爱迪生公

198

司（Edison Company）的霍尔本高架道路（Holborn Viaduct）电站。它最初是为街道照明供电而建造的，后来又扩展到为附近的一些私人用户供电。大约在同时，在戈德尔明和布赖顿又建造了其他的一些小型电站（图101）。1883年，林塞爵士（Sir Coutts Lindsay）在为格罗夫纳画廊（Grosvenor Gallery）的照明和一些私人用户而建造的电站，成为这一时期最著名的电站之一。电网用高压交流电流供电，电站为每个用户提供一个串联的变压器[1]，这种变压器以戈拉尔（Gaulard）和吉布斯（Gibbs）方式运行，即所有变压器的初级绕组串联在环状干线的每条线路上。然而，这个电站在1885年出现许多麻烦，以致不得不求教于费朗蒂。1886年，二十出头的费朗蒂出任这家企业的总工程师。这时，他正在制造前已提及的交流发电机（边码193），第一步行动是以自己制造的2400伏发电机代替了两台原有的西门子交流发电机。他还用自己设计的并联跨接在单相配电干线上的另一种变压器取代了串联变压器，开创了一种从此普遍应用的做法。

变压器 法拉第照例让别人去发展他所发现的交流变压器原理，这使得在此后十年左右的时间里，许多人都熟悉了感应线圈的特性。在这些变压器中，一种通断机构或断续器装置使初级绕组内产生必

199

需的脉冲电流，这种脉冲电流进而又在次级绕组内感应出高电压。人们提出了一些在配电中应用感应线圈的建议，戈拉尔和吉布斯可能是最先以一种串联方式在电力系统中实际应用变压器的先驱者（图102）。虽然费朗蒂并不是最早提出保持变压器电势恒定或者说把变压器做并联连接的人，但他的系统最先表明了实际采用并联方式的可行性。威斯汀豪斯（G.Westinghouse）是在美国推行交流电的开拓者，对戈拉尔和吉布斯的系统极感兴趣。大约就在此时，他为了做实验

1 这种变压器的工作原理——不同绕组之间或绕组的不同部分之间相互感应——是由法拉第于1831年最先论证的。

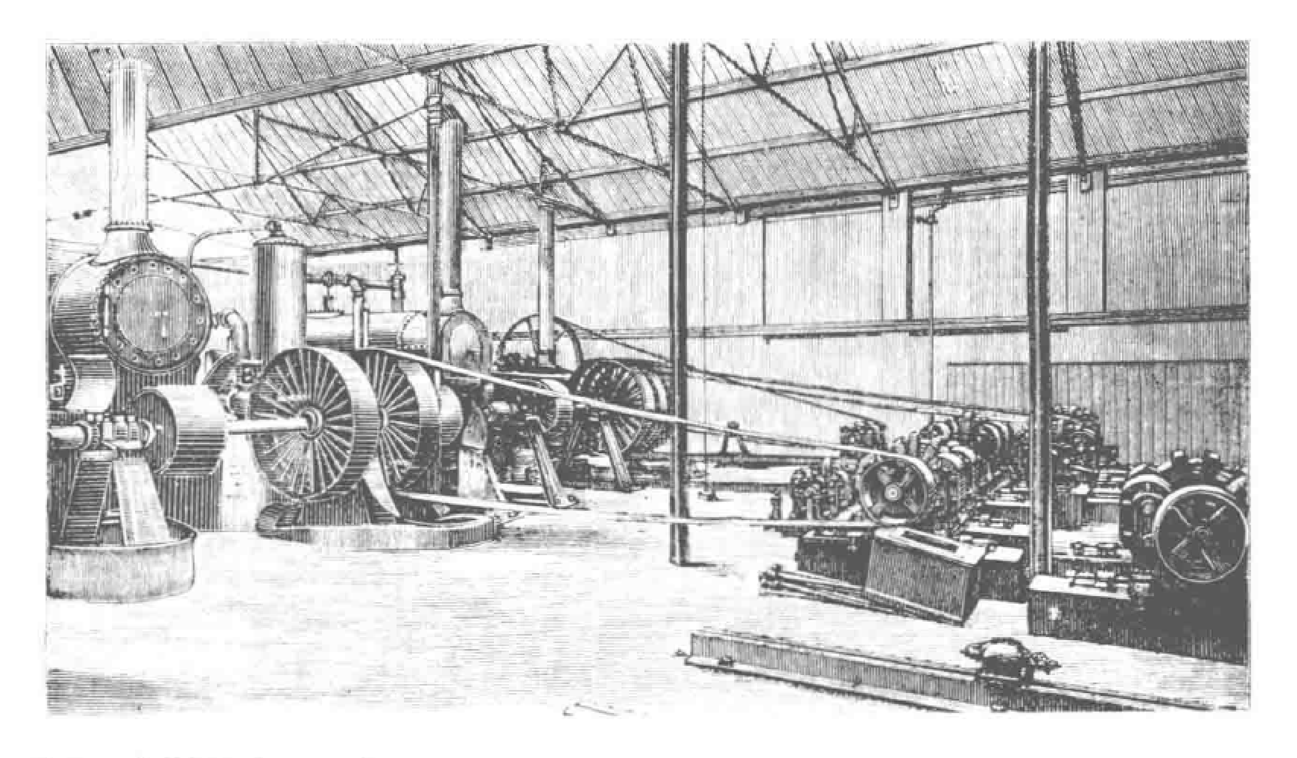


图 101　布赖顿电站，1887 年。

而从欧洲进口了一台西门子交流发电机和几台戈拉尔和吉布斯的变压器，他的工程师们赞同费朗蒂的观点，认为应该采用并联方式。

德特福德电站 1887 年，伦敦电力供应公司（London Electricity Supply Corporation）成立，它拥有一百万英镑资本，接管了格罗夫纳画廊电站，并开始实施费朗蒂在德特福德建立一个大型发电厂的计划，目的是给伦敦的大部分地区供电。费朗蒂和某些有胆识的金融家共同坚信，电力工业令人满意的发展，必然与庞大的发电量密切相关。在工程师中，几乎只有费朗蒂一人主张采用高压输电。他在德特福德电站计划采用的输电电压为 1 万伏，而当时既没有一家发电厂，也没有一台发电机，更没有一种电缆，是为 2500 伏以

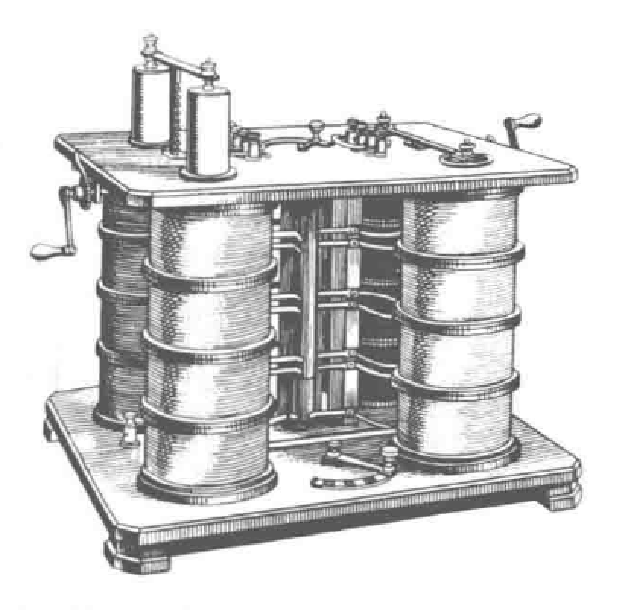


图 102　戈拉尔和吉布斯的可调铁芯的变压器，约 1883 年。

200

上的电压而设计的。费朗蒂自己设计电站，并且亲自监督制造那些电力设备（图 103）。这个电站有两台用于白天供电的费朗蒂交流发电机，设计的工作电压为 5000 伏，用 1250 马力的蒸汽机驱动，还有四台费朗蒂交流发电机，绕组电压为 1 万伏，每台发电机都有一台 1 万马力的蒸汽机与之联轴。

第一条 1 万伏输电干线电缆没有获得成功，费朗蒂又设计了一种以螺旋状缠绕的蜡纸来隔离的同轴导线系统。应当承认，使用这种材料完全是一种即兴的创作，却从此成了电缆工业中的一种规范做法。由于种种原因，大型发电机一直没有制造成功，但一些较小的发电机组与格罗夫纳画廊电站相互连接了起来。更令许多反对者惊异的是，费朗蒂成功地证明了 1 万伏输电的实际可行性。最初的费朗蒂输电干线是由 20 英尺长的一段段铜管线在液压下连接起来

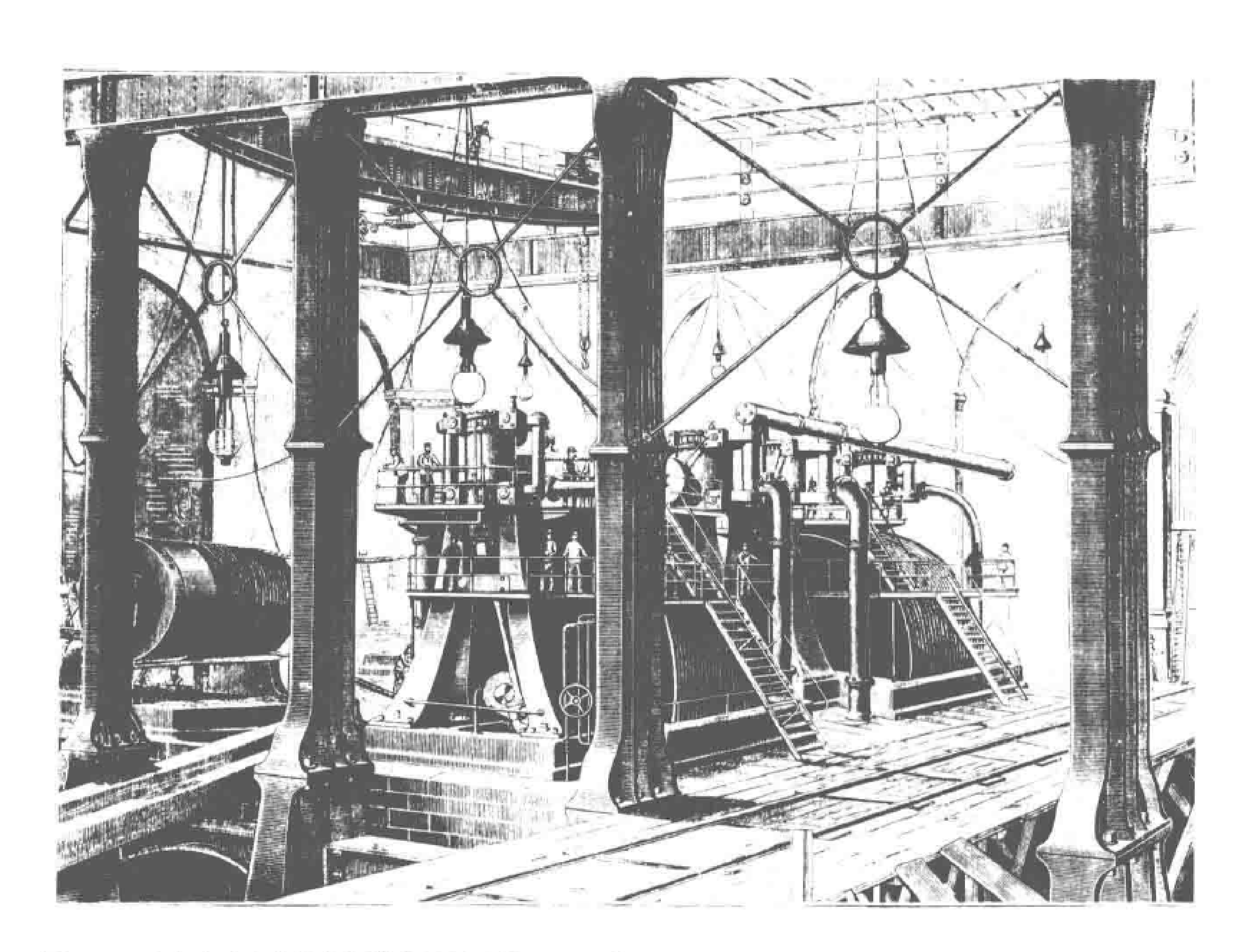


图 103　正在建造中的德特福德电站的内景，1889 年。

的，里面有一个内管和一个外管，中间用绝缘纸隔开，在伦敦一直使用了 40 多年。1889 年，德特福德电站首次输出电流，不过并没有马上获得成功，而是直到 1891 年才开始正常运行。虽然我们可以把这一电站看作所有大型现代集中电站的先行者，但当时的许多电力工程师根本不承认这一电站的设计是合理的，因此，为相邻地区用户设计建造的较小型电站一直延续使用到 20 世纪也就不奇怪了。1889 年建造的处女巷（Maiden Lane）电站，就是这种小型电站的一个典型（图 104）。

直流电还是交流电 另外，在直流电和交流电哪一种更好的问题上，曾经出现过尖锐的意见分歧。在这场"制式之争"中，赞成采用交流发电的人有英国的费朗蒂、戈登、莫迪和汤普森（S. P. Thompson）以及美国的威斯汀豪斯、特斯拉（N. Tesla）、斯普拉格（F. J. Sprague）和斯坦梅茨（C. P. Steinmetz）。反对他们而赞成采用直流发电的人有

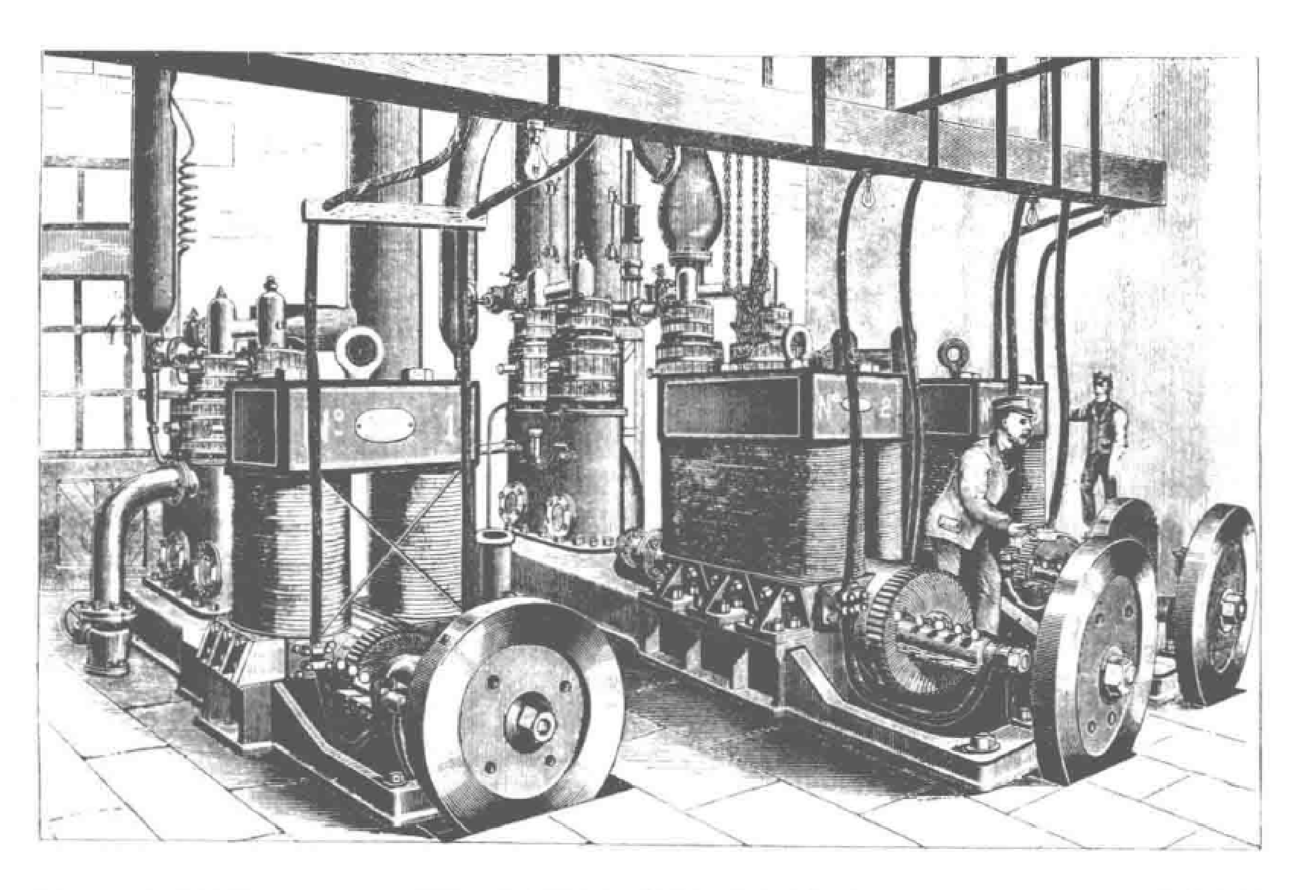


图 104 加蒂兄弟 (A. & S. Gatti) 的位于伦敦斯特兰德大街公牛巷场院 (Bull Lane Court, Strand) 的发电站，一般被称为处女巷电站，1889 年。

英国的开尔文勋爵、克朗普顿、肯尼迪（A. B. W. Kennedy）和霍普金森（John Hopkinson）以及美国的爱迪生。

201 在英国，论战的武器是科学论据和经济事实。在美国，论战则是在使用交流电是否确实会有危险这一问题上展开的。首先，与爱迪生合作的顾问工程师布朗（H. P. Brown）积极倡议对国家用交流电执行电刑应在法律上予以接受，并在1889年成功地建议有关部门购买了威斯汀豪斯的交流发电机用于这个目的。然后，爱迪生和布朗通过全国规模的大肆宣传攻击交流电的应用，断言交流电具有极大的危险性，声称交流电具有相当高的事故死亡率。作为有利于他们的论据，他们指出官方正是用交流电作为致命的工具。威斯汀豪斯在一些文章和小册子中进行了反击，愤怒的他认为那是卑劣的歪曲，甚至认真地考虑以阴谋为由提起诉讼。

1893年，威斯汀豪斯取得了胜利，他的公司终于签订了为尼亚加拉瀑布发电工程提供第一批交流发电机和辅助设备的合同。一个人们不得不承认的事实是，高压输电方法因为能够减少输电干线上 202 的损耗而大受称赞，而当时还不能建造高压工作状态的直流发电机。当然，直流电的拥护者们可以声称，一种专门在直流下工作的大容量蓄电池能够在轻负载条件下显著地提高电站的运行效率，此时蒸汽机可以停止工作。即使在最大负载时，这种蓄电池还能成为有用的助手。但是，蓄电池的维护保养需要一笔巨额开销，损耗可能也相当大。

许多年之后，交流电才受到一致赞同，这时的直流电站至少和交流电站一样多，为后人留下了一项调换和调整发电机的任务。直到1958年，即大约半个世纪以后，这项任务还没有彻底完成。在英国，伦敦的某些地区和外省的一些城镇里，至今仍然沿用直流供电。

交流发电机的并联运行 早在1868年，怀尔德就已经讨论过两台

交流发电机的并联运行问题，并且用概括的语言描述了它们的相位同步问题。这一问题的再次提出是在1884年霍普金森（John Hopkinson，1849—1898）的一篇论文中，并且第一次得到了适当的数学处理。在采用交流电的初期，交流发电机在同步方面的困难看来成了一个主要的障碍。戈登指出：

它们抖动了三四分钟后才一起工作……这就有可能把2万盏灯的寿命缩短一个月，这种损失是很惨重的。所以……他们不能把交流发电机联合……

后来，这种与原动机有关的而不是与交流发电机有关的障碍终于被克服。但是在许多年里，人们还是宁愿使用几台独立的交流发电机分别给各自独立的负载供电，而不去试用并联的连接方式。

人们已经注意到，长期以来电机的设计主要是靠经验，荣誉应当给予技术这一分支中的先驱者。在那些特别注重发电机的理论设计和测试（这与一般的理论是有区别的）的人当中，有汤普森、霍普金森、卡普（Gisbert Kapp）和斯温伯恩爵士（Sir James Swinburne）。霍普金森作为英国爱迪生公司的顾问工程师，曾负责对爱迪生母公司制造的无效的直流发电机重新进行设计。霍普金森的直流发电机是由英国的马瑟和普拉特公司（Mather & Platt）制造的，他的名字还与这一领域中另外两个确定发电机效率的方法连在一起，分别是所谓“霍普金森测试法”和所谓“三线制”的配电系统。利用三线制配电系统，可以大大节省街道输电干线的用铜量。

卡普和斯温伯恩与切姆斯福德的克朗普顿公司（Crompton & Company）进行了出色的合作，因此与直流发电机和有关仪器的发展连在了一起。卡普设计了一些早期的直接与蒸汽机连接的低速直流发电机，他的名字还与一种电枢内嵌有通风管道的直流发电机结构

有直接联系。对于给定的电力输出来说，这种结构大大减小了发电机的体积和重量。另外，卡普最先提出“壳式变压器”(shell)这一名称，用来描述某种类型的变压器。汤普森是发电机设计方面的权威，在他写的教科书中最先恰当地论述了设计问题，这些书曾多次再版。

9.8 电池

在伏打电池（边码177）的早期，人们多次尝试解决它的一些主要问题，即电池工作时金属极板的极化和电池不用时金属极板的蚀损。1830年，斯特金（边码178）引进了锌极板的表面汞齐化处理做法。经过处理的金属就像化学纯锌一样，能抗拒酸性电解液的腐蚀。

204

那些靠一种不可逆的化学反应产生电的电池称为原电池，分为单液电池和双液电池两类。最简单的单液电池就是最初的伏打电池，把不同金属的极板交错排列，并用了一种碱性的或盐类的或酸性的电解液。这种电池很容易极化，阳极板上释放出来的氢会使化学反应受阻。这种极化使电池在使用了短时间后，电压即发生显著的跌落。为了消除极化，人们进行了许多尝试，并且取得了一些显著的成效。

1850年前后，赫尔姆(Helm)用碳棒作为阳极取代了早期电池中需要更换的昂贵的铜极板，大大减弱了极化作用。瓦朗·德·拉·鲁(Warren de la Rue，1815—1889)用二氧化铅也得到了类似的效果，又在1868年做成了氯化银电池，它能够提供一种极其恒定的电动势。然而，在这一时期向着商业化电池发展的过程中，法国的铁路工程师勒克朗谢(G. Leclanché，1839—1882)作出了最杰出的贡献，他在1866年发明的电池形式至今仍在广泛使用。

另一类单液电池使用的是铬酸或铬盐溶液，其中比较出名的

是本生（R. W. Bunsen，1811—1899）发明的使用碳、锌极板和铬酸的电池（1844 年），以及格勒内（Grenet）在 1859 年发明的重铬酸钾长颈瓶电池。这种电池使用了碳、锌极板（图 105），都或多或少有着电压变动的缺陷，电压受电解液浓度变化的影响，而电解液浓度又决定着电池的内阻。

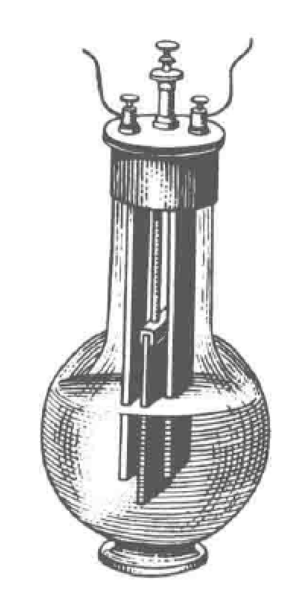


图 105　格勒内的重铬酸钾长颈瓶电池。

最早的实用型双液电池是由丹尼尔（J. F. Daniell，1790—1845）发明的。丹尼尔电池的宗旨在于产生一个恒定的电动势，而它无疑成了这类电池中最常用的一种，特别适用于电报机。1836 年，曾有人对丹尼尔电池的原始形式作过描述：它是由一个铜圆筒和一个装在其内的多孔槽构成的，铜圆筒用作正极，固定在多孔槽内的一根锌棒用作负极，多孔槽内的液体是稀硫酸，外部的液体是饱和的硫酸铜溶液。据称，除了电动势恒定这一优点，丹尼尔电池的极板不会被蚀损，而且不会产生令人讨厌的雾气，可以长时间持续地起作用而不必加以照管。1853 年，富勒（J. C. Fuller）最先对丹尼尔电池进行了值得注意的改进，他以硫酸锌溶液代替了丹尼尔电池槽内所用的硫酸。据说，这种改进大大延长了锌棒的寿命。按照“电池槽原理”富勒制造了具有 12 个槽的电池（图 106）。一直到 1875 年，这种电池都被应用于电报业，后来被重铬酸汞电池所取代。富勒兄弟（J. C. Fuller & G. Fuller）拥有这种汞电池的专利，它能产生恒定的 2 伏电动势，内阻低，3 个电池串联使用的效果相当于一个十槽的丹尼尔电池，因此享有盛名，据说成本仅为丹尼尔电池的 1/3。

另一项对丹尼尔电池的重大改进应当归功于米诺托（Jean Minotto）（1862 年），他的专利的精髓是用一层沙子来代替丹尼尔电池的多孔槽（图 107、图 108）。这种电池的容器是用玻璃或者其他适宜的绝缘材料制作成的罐子，罐底放置一块薄薄的圆形铜板，上面连接着

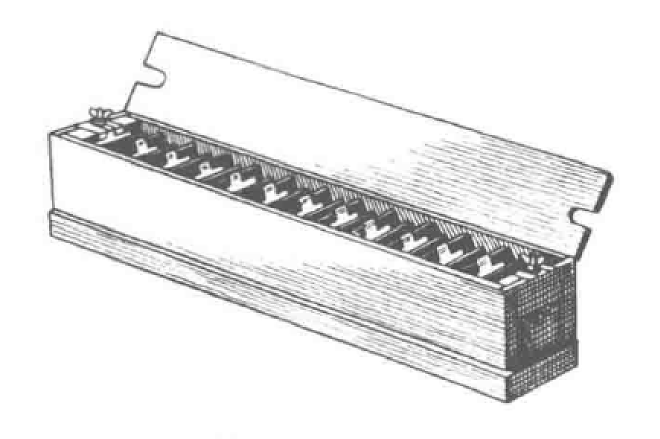


图 106　为电报机供电的富勒槽式电池。

一根绝缘的导线。在铜板上面一层层交替地添加硫酸铜粉末（或结晶体）和沙子，最后再加上一块圆形锌板作为第二个极板。只需在锌板上面加水，大约经过1个小时之后，电池便进入了工作状态，并可以持续运用到硫酸铜耗尽为止。米诺托电池有时又称“重力电池”，在印度和一些热带国家被广泛应用于电报机。此外，人们还研究出一些其他形式的原电池，但它们或是维护起来有困难，或是成本太高，没有存在下去的价值。

第一台演示“可充电电池”(secondary battery) 效应的装置是里特 (J. W. Ritter，1776—1810) 在1803年前后制造的。“可充电电池”又称“蓄电池”(storage battery) 或“蓄电器”(accumulator)，因为它可以被另外一个电源充电。里特是一位在巴伐利亚州莱格尼茨 (Leignitz) 土生土长的人，当时没有人能意识到“可充电电池”的意义，他的工作被遗忘了。现代蓄电池之父无疑是巴黎的普朗泰 (R. L. G. Planté，1834—1889)，他早在1870年之前就开始了这项研究工作。1878年末，他的蓄电池首次展出引起了人们的广泛兴趣。法国的另

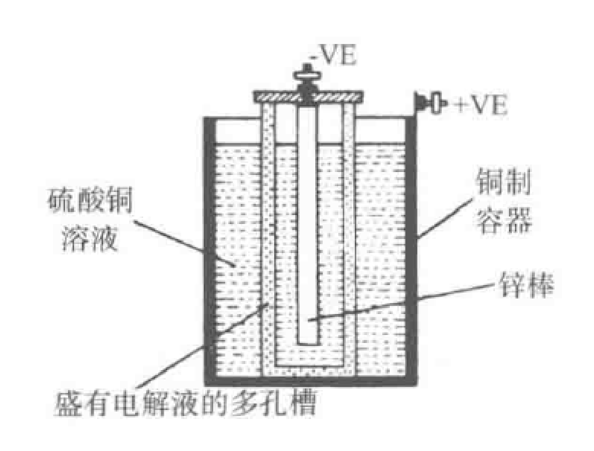


图 107　一只典型的丹尼尔电池的纵剖面图。

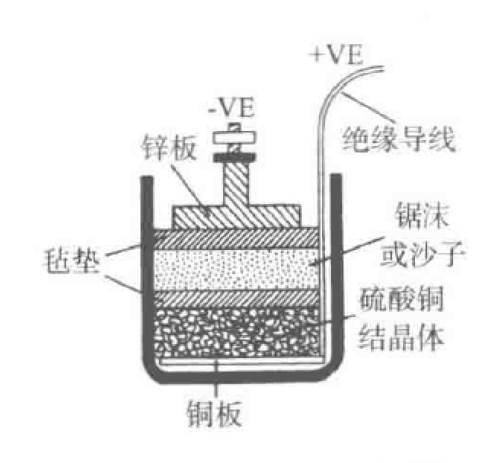


图 108　根据丹尼尔原理制成的米诺托电池的纵剖面。

外两位发明者——著名的福尔（C. Faure）和梅里唐继续研究了这一课题，他们和普朗泰的名字都与铅极板结构类型的蓄电池联系在一起。

在英国，斯旺爵士（Sir Joseph Swan，1828—1914）充分认识到了可充电电池的价值。但是，他认为自己在巴黎看到的普朗泰和福尔的样品（边码 418）过于庞大笨重，因而不会有商业利润。斯旺进行了大量的研究工作，在 1881 年发明了蜂窝状铅极板，其中可以填充铅绒材料。这一改进使得蓄电池在给定尺寸下的蓄电量大大增加，早期的直流电站广泛地使用了体现这种改进的蓄电池。

鸣谢：

承蒙英国电气工程师学会（Institution of Electrical Engineers）同意，复制了边码 192 处的那张表格。

参考书目

'Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget, 1883–1908.' Privately printed, Gothenburg. [1909.]

Appleyard, R. 'The History of the Electrical Engineers.' Institution of Electrical Engineers, London. 1939.

Bowen, J. P. 'British Lighthouses.' Longmans, London, for the British Council. 1947.

'Correspondence in the Matter of the Society of Arts and Henry Wilde, D. Sc., F. R. S' Published privately, Manchester. 1900.

Crompton, R. E. B. 'Reminiscences.' Constable, London. 1928.

Davy, H. "An Account of some Experiments on Galvanic Electricity." *J. R. Instn*, 1, 166, 1802.

Douglas, J. N. "The Electric Light applied to Lighthouse Illumination." *Min. Proc. Instn civ. Engrs*, **57**, Pt III, 77, 1878–9.

Dredge, J. (Ed.). 'Electric Illumination', Vol. 1. London. [1882.]

Ferranti, G. Z. de. 'Life and Letters of Sebastian Ziani de Ferranti.' Williams & Norgate, London. 1934.

Gordon, J. E. H. 'Practical Treatise on Electric Lighting.' London. 1884.

Higgs, P. 'The Electric Light.' London. 1879.

Idem. Electrician, 10, 179, 1883.

Hudson, D. and Luckhurst, K. W. 'The Royal Society of Arts, 1754–1954.' Murray, London. 1954.

Mackechnie Jarvis, C. "The History of Electrical Engineering", Pts 2, 3. *J. Instn elect. Engrs*, 1, 145, 280, 1955.

Niaudet, A. 'Machines électriques à courants continus, systèmes Gramme et congénères.' Paris. 1881.

Pacinotti, A. "Descrizione di una macchinetta elettro-magnetica." *Nuovo Cim.*, 19, 378, 1864.



电流体的展示。大约在1750年，在诺莱(Abbé Nollet)的实验中，一位女士卧在一块绝缘板上，绝缘板已被一台圆筒起电机充了电，一位旁观者从这位女士的鼻子中拽出火花取乐。

Parsons, R. H. 'The Early Days of the Power-Station Industry.' University Press, Cambridge. 1940.
Passer, H. C. 'The Electrical Manufacturers, 1875–1900.' Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1953.
"Report of Ordinary Meeting." *Mem. Manchr lit. phil. Soc.*, 6, 103, 1866–7.
Siemens, C. W. "On the Conversion of Dynamical into Electric Force without the aid of Permanent Magnetism." *Proc. roy. Soc.*, 15, 367, 1867.
Siemens, W. "Über die Umwandlung von Arbeitskraft im elektrischen Strom ohne permanente Magnete." *Mber. preuss. Akad. Wiss.*, 56, 1867.
Thompson, Jane S. and Thompson, Helen G. 'Silvanus Phillips Thompson, His Life and Letters', p. 99. Fisher Unwin, London. 1920.
Thompson, S. P. 'Dynamo-Electric Machinery' (3rd ed.). London. 1888.
Idem. Electrician, 52, 60, 1903.
Wilde, H. "Experimental Researches in Magnetism and Electricity." *Proc. roy. Soc.*, 15, 107, 1866.
参见：
Journal of the Institution of Electrical Engineers, London, Vols. 11–, 1882–.
Journal of the Society of Telegraph Engineers and of Electricians, London, Vols 1–10, 1872–82.
Telegraphic Jouranal and Electrical Review, London, 1872–.
Transactions of the Newcomen Society, London, 1920–.

第10章 配电与用电

C. 麦基奇尼·贾维斯（C. MACKECHNIE JARVIS）

208

10.1 弧光灯

在用摩擦生电进行诸如火花放电和金属线熔断等大量实验之后，伏打电池（边码178）的发明揭示了电流的应用潜力。大型电池刚被装配出来，人们很可能就注意到了电弧现象。早在1802年，为了改善电弧的品质，人们有意用碳电极代替金属电极，由此产生了电气照明科学。这种发自电弧的耀眼光芒立刻便给人留下深刻的印象，但是，为了将它实际应用于照明而进行的早期实验都失败了，因为不可能得到稳定的光照（边码134）。事实表明，无论是要得到在纯度和硬度上都适合制作电极的碳，还是要做到自动控制电弧，都是很困难的事情。经过12年的实验，从1846年起，斯泰特（W. E. Staite，1809—1854）才能差强人意地在公众面前演示电弧照明。碳提纯方法的专利在1845年给了丘奇（Jabez Church），格林纳（W. Greener）和斯泰特也在1846年获得了这方面的专利。

用白炽状金属灯丝进行的许多实验表明，由于氧化的缘故，白炽灯丝在空气中的寿命必定是短暂的。瓦朗·德·拉·鲁（Warren de la Rue，1815—1889）和威廉·格罗夫爵士（Sir William Grove，1811—

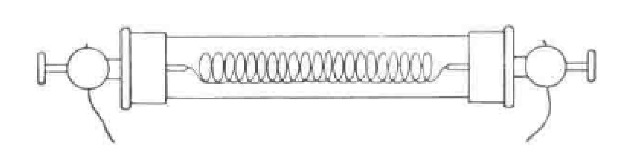


图109 德·拉·鲁的铂灯丝白炽灯，1840年。

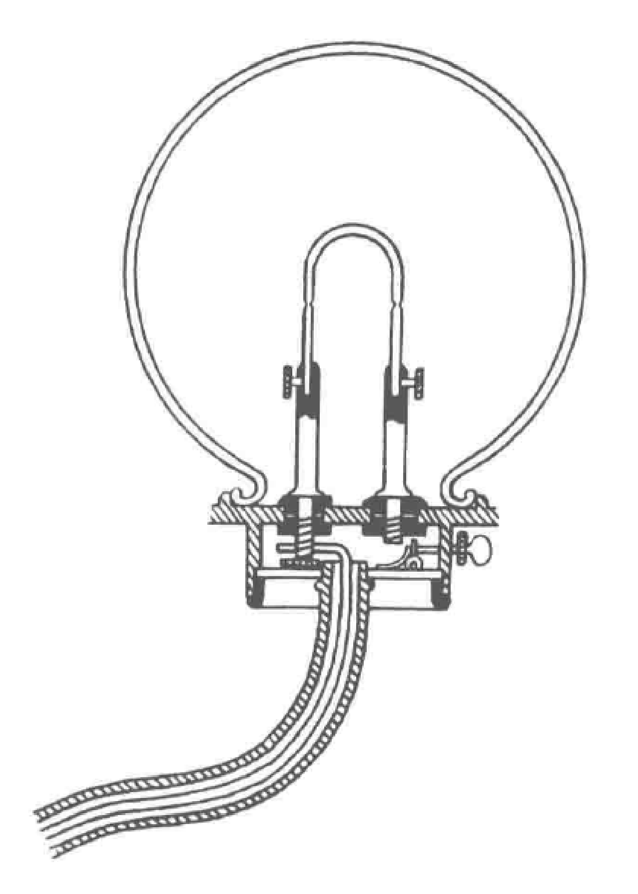


图 110　斯泰特的金属灯丝灯，1847 年。

1896）等人认识到，灯丝灯的成功与使灯丝在无氧环境下工作的难题密切相关。德·拉·鲁和格罗夫（1840 年前后）将铂灯丝密封在尽可能高度真空的玻璃泡中（图 109），结果发现灯的寿命仍然很短，主要原因是真空还不尽理想，与灯丝开始炽热发光的温度和其熔点之间的差值太小也有关系。

19 世纪 40 年代中期，斯泰特用铂铱合金做了类似的实验，但烧毁灯丝的问题仍未解决。1847 年 10 月，他在达勒姆的桑德兰进行关于电气照明的演讲时，展示了一盏这种类型的灯（图 110）。听众中有一位年轻的化学家，他就是斯旺（Joseph Swan，1828—1914）——后来的约瑟夫爵士（Sir Joseph）。关于他的工作，我们将在下面另述（边码 214）。斯旺给我们留下了一些关于 19 世纪初人工照明情况的叙述，不过这些叙述在今天看来有点难以体会。他写道：

回顾我的青少年时代，那是个黑暗的年月，因为我出生时，灯心草蜡烛、动物脂蜡烛或壁炉前孤独的火光就是人们通用的室内照明方式……就是在大人物的房间内，也只是用纯蜡烛，或是在礼仪场合例外地用多支蜡烛组合起来驱除一些昏暗。但是一般说来，普通人只能抱着对室内照明（就像我们现在所享受到的）的向往，在太阳下山不久时就去睡觉。

对大城市来说，情况并非如此，那里大约从1812年起就采用了煤气灯(第Ⅳ卷，边码269)。但是，有一点必须记住，在韦尔斯巴赫(Auer von Welsbach)的煤气灯白炽罩发明(1886年)之前，煤气灯照明靠的是鱼尾形或类似形状的煤气灯头。

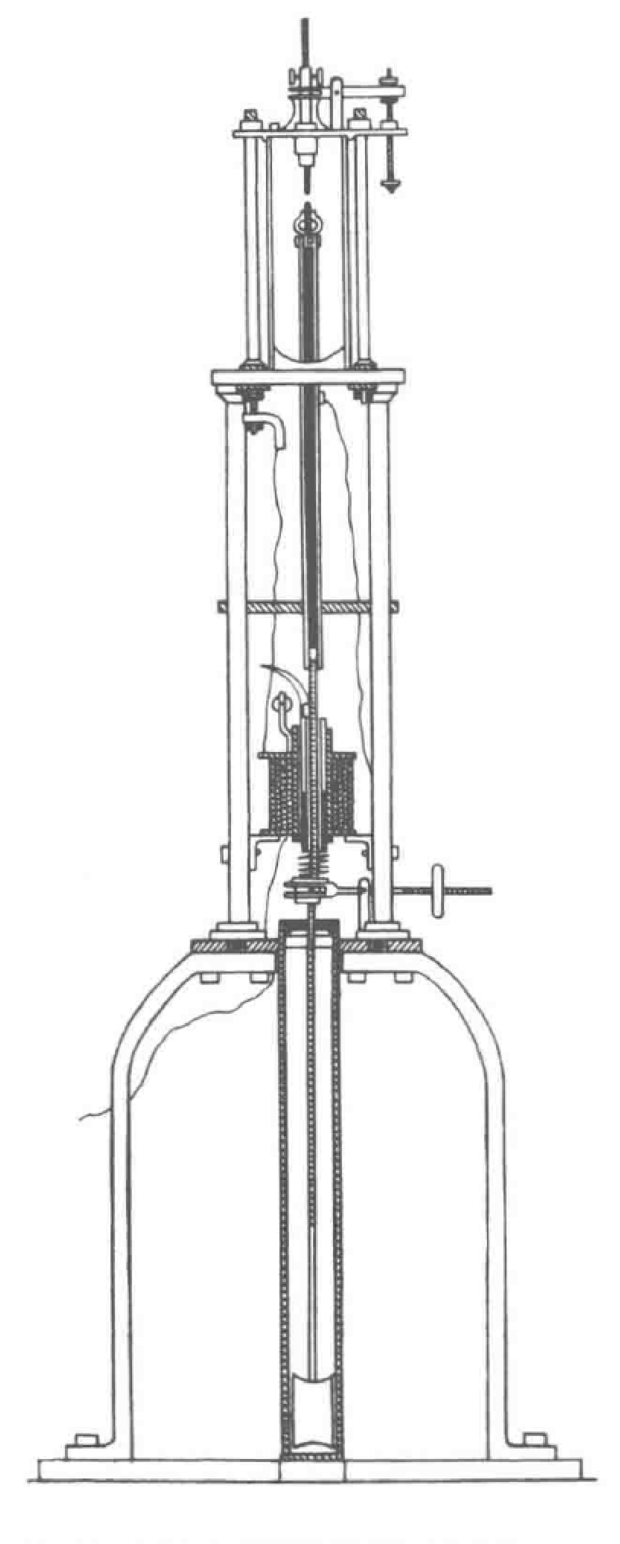


图111 斯泰特的早期碳弧光灯，1853年。

斯泰特是为碳弧光灯设计出第一个实用的自动进给机构的功臣。他在1846年制作的弧光灯采用了一种时钟装置，碳棒能借此以固定的速率进给。这种装置有着明显的缺点，于是斯泰特在1847年引入了他的“固体热膨胀计原理”(pyrometric principle)，即利用了这样的事实——当碳棒被消耗时，电弧辐射出的热量随着电弧的长度一起增加。在斯泰特的装置中，这样发出的热量使一根铜线膨胀，从而使一个棘爪提起，让一个与齿条啮合的载重齿轮系把变短了的碳棒向上推进。大约30年后，西门子(E. Werner von Siemens)和爱迪生(T. A. Edison)也制作了按此原理工作的弧光灯。工程师皮特里(W. Petrie，1821—1904)大大改进了弧光灯这一部分的装置，并

且与斯泰特一起，在全国各地进行了许多关于电气照明的公开演示和演讲。1848年10月，这种改进型弧光灯首次在伦敦展出，引起了“艺术家、科学家、工程师、煤气业主、各种灯具的专利所有人以及众多智者名流”的强烈兴趣，只是这种热情并没有持续下去。图111给出了这种弧光灯在1853年的一种样式。

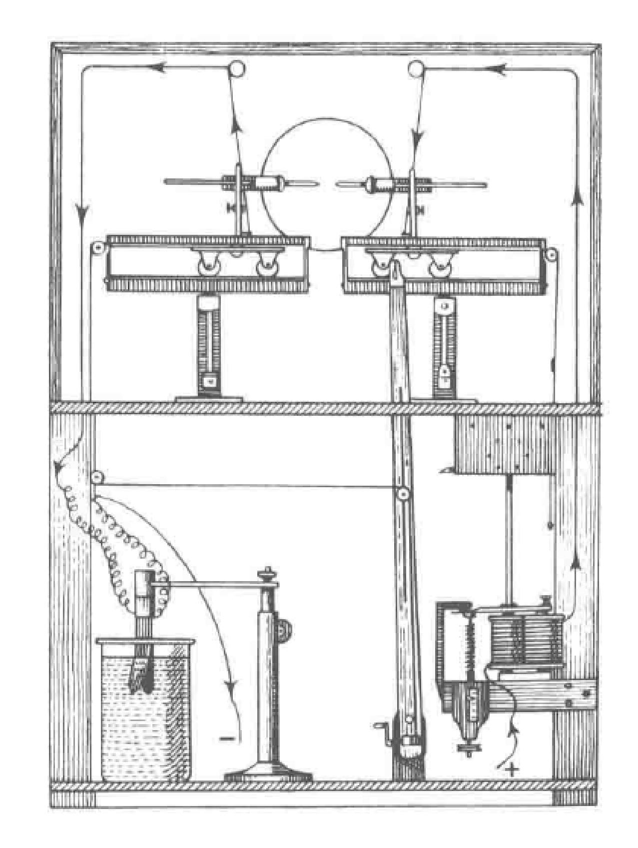


图112 傅科的早期弧光灯所用的调节器，约1850年。

尽管公众对于他们的发明很感兴趣，斯泰特和皮特里在争取财力支持方面还是失败了，没能使实业家和其他人确信这

210

种发明的价值。他们不得不认识到，虽然他们解决了弧光灯的难题，但是他们还是无法战胜丹尼尔电池的局限性，那可是他们唯一的电源。不过，这件新奇的东西仍然不断地公开展出。在这一时期与弧光灯实验有关的人中，还应该提到傅科（J. B. L. Foucault，1819—1868）、塞林（Serrin）和迪博斯克（Duboscq）。傅科与斯泰特差不多是同时代的人，他在巴黎的活动也经历了类似的过程，虽然他的实验装置（图112）明显不如斯泰特。在大多数同时代人已经对弧光灯失去兴趣之后，塞林仍然坚持致力于弧光灯的完善（图113）。虽然他在1857年就已经取得了自己的第一项专利权，但是直到大约15年以后，即到了格拉姆型直流发电机（边码189）能够大量生产的时候，他的弧光灯才被普遍采用。迪博斯克的弧光灯（图114）与塞林的弧光灯几乎是同一时期的，它让人感兴趣的是被霍姆斯应用在1858年开始的布莱克沃尔和南福兰角的灯塔照明实验（边码182）。后来

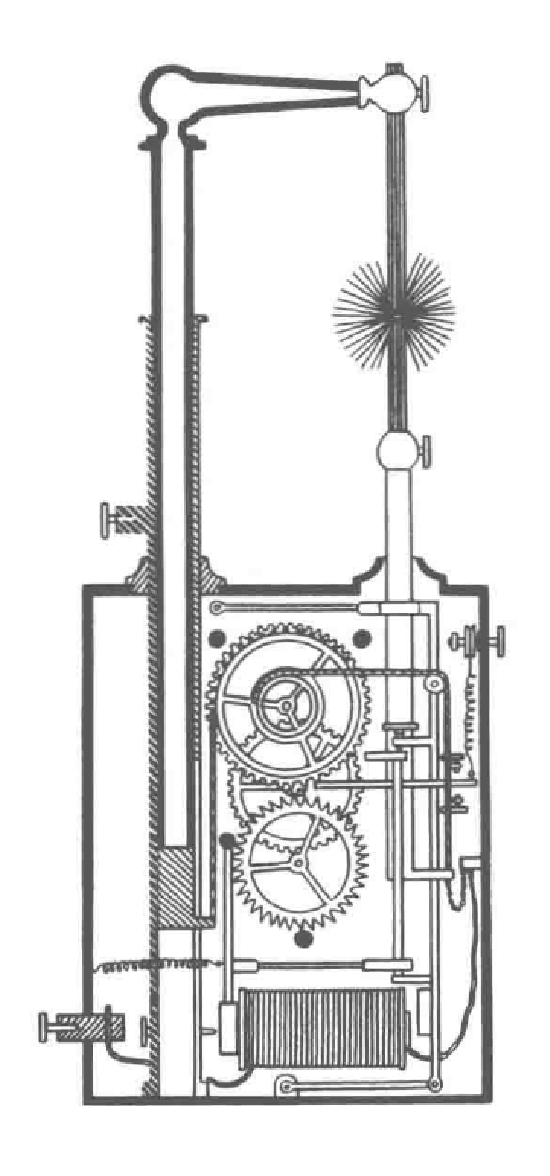




图 113　塞林的弧光灯，约 1857 年。

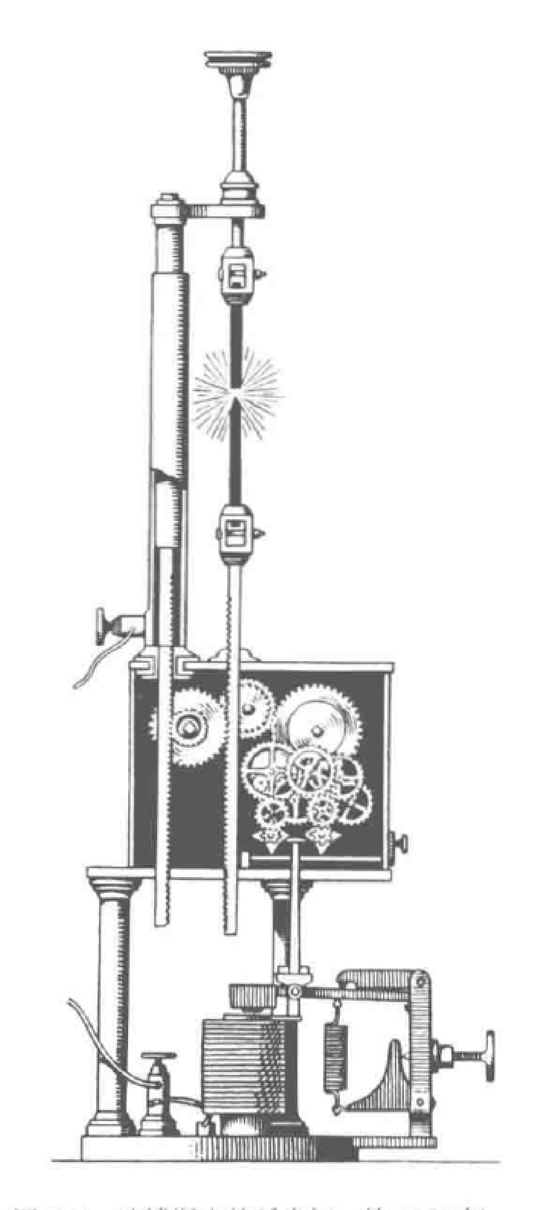


图 114　迪博斯克的弧光灯，约 1858 年。

（1862 年），霍姆斯自己也设计了一种弧光灯，取代了迪博斯克的弧光灯。

霍姆斯的改进型弧光灯被为数不少的英国灯塔所使用，其中包括著名的南福兰角的高灯塔和低灯塔以及森德兰附近的邓杰内斯角灯塔和苏特角灯塔。在法国，塞林的弧光灯应用得很广泛，它先是与联盟公司的发电机配合使用，后来则与梅里唐（de Meritens）的发电机配合使用，同样也是用于灯塔（边码 193）。

1871 年格拉姆型直流发电机的问世和 1873 年安装在格拉姆的巴黎工厂里的弧光灯的成功，重新唤起了公众对弧光灯照明的兴趣。因

而，从1875年起建立了许多地方政府和私人的弧光灯照明设施。

位于米卢斯的海尔曼、迪科曼和施泰因莱因公司（Heilman, Ducommun & Steinlein）面粉厂，是最早建立这种照明设施的地方之一。1875年8月，这里有4台格拉姆型直流发电机和4盏塞林弧光灯在运行。当时，还没有发现用一台发电机来带动一盏以上弧光灯的可能性，使得这种照明设施非常昂贵。也是在1875年，建于马恩河畔努瓦西尔（Noisiel-sur-Marne）的梅尼耶（Menier）巧克力厂和格勒内勒的梅尼耶橡胶厂都跟着安装了这种照明设施，不久，里卡尔（Ricard）的棉纺厂里也亮起了弧光灯。

211

1876年，法国的北方铁路公司（Nord railway company）宣布在拉沙佩勒火车站的月台上采用了弧光灯照明，它们靠压缩空气发动机驱动的格拉姆型直流发电机供电。与此同时，巴黎－里昂－马赛铁路公司（Paris-Lyon-Marseille company）也宣布采用了弧光灯，并且在1877年又取得了一些进展。据报道，在1877年9月，里昂火车站安装了由12盏弧光灯组成的照明设施，它们用一台发电机来供电。

基于两种原因，英国对弧光灯的采用落在了后面。最可能的解释是，英国必须要从欧洲大陆既进口发电机又进口弧光灯，但也必定有许多人会想起前一代人不成功的实验，以及那几家为提倡电池供电的弧光灯而组建的公司所遭受的财政损失。

这种不思进取的状况不止一次地引起公众的叹息，直到1878年秋才接连宣布公共的和私人的发展计划。1878年8月，英国的第一套照明设备伦敦盖蒂剧院（边码196），由6盏隆坦灯（Lontin lamp）组成，用以照亮这幢建筑物的正面。这项工作是由法国承包商执行的。大约在同一时间，克朗普顿（R. E. B. Crompton，1845—1940）在德比附近的斯坦顿炼铁厂（Stanton Ironworks）里也安装了两台格拉姆型交流发电机，并进口了一些弧光灯。

像其他英国工程师一样，克朗普顿曾经在巴黎研究过弧光灯照

明。他知道，工厂照明从油灯和煤气灯转变为弧光灯以后，弧光对眼睛的强烈刺激引起了人们的很大不满。在这一时期前后，他先用弧光灯（1881 年）随后又用斯旺的白炽灯，做了许多关于间接照明的实验。图 115 给出了一只早期的克朗普顿弧光灯的图解。

在这种弧光灯中，一对竖直的碳极位于同一直线上，相互之间的间隙能够自动调整，这使得它们的成本很昂贵。然而，雅布洛奇科夫（Paul Jablochkoff，1847—1894）在 1876 年发明的“电烛”，把解决这一问题变得容易多了。雅布洛奇科夫曾经是俄国军队中的一位电报工程师，后来移居巴黎。他的电蜡烛由两根直径通常为 4 毫米的平行碳棒构成，它们竖直安装，其间有一个瓷分隔器，顶端跨接着一根石墨

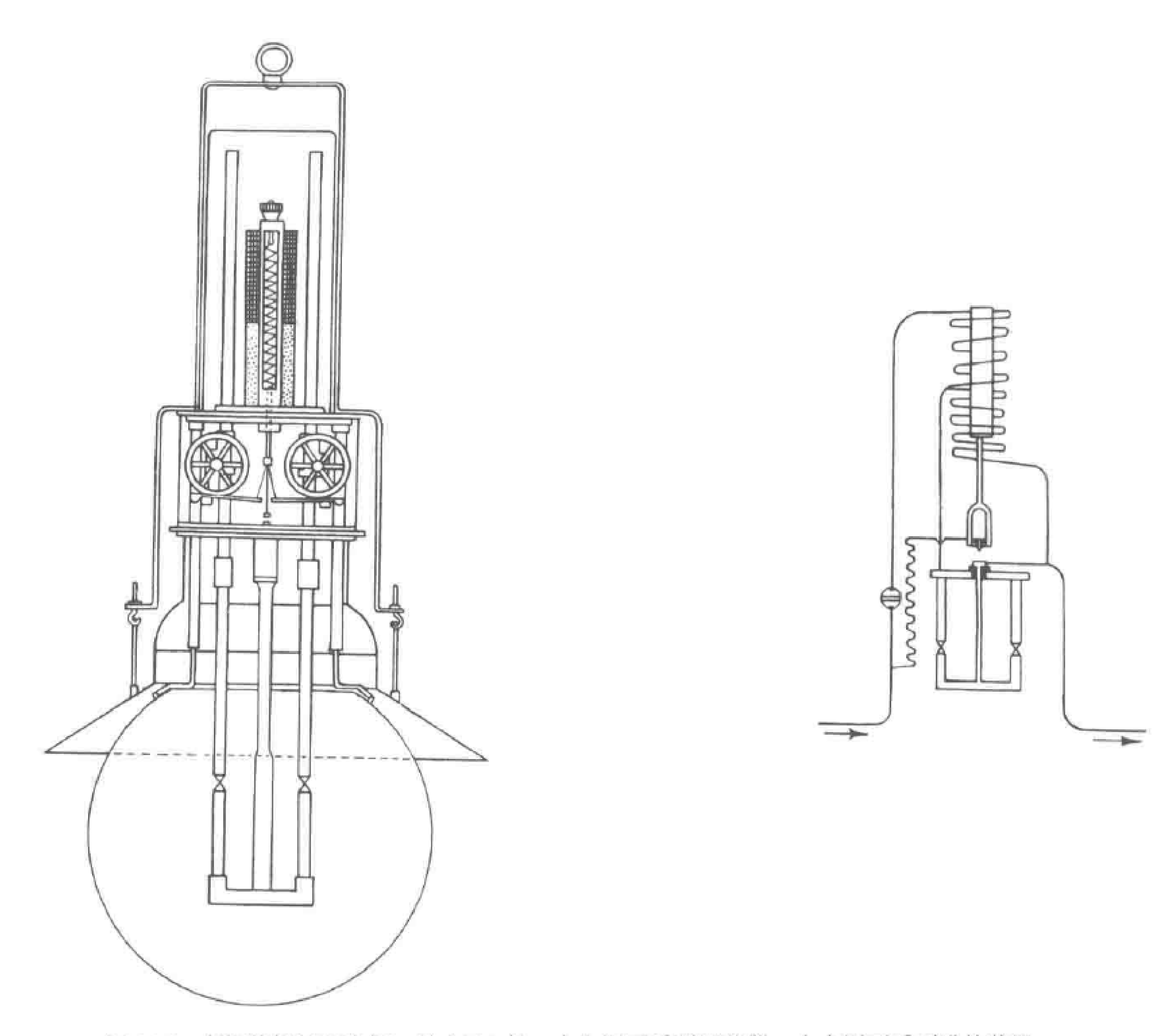


图 115　克朗普顿的弧光灯，约 1880 年。由左图可看到调节器，由右图可看到进给装置。

条(图 116)。当电流首次接通时,石墨条即被烧毁,一道电弧在两支碳笔之间形成,并逐渐向下燃烧。为了避免在直流电弧中出现电极蚀损不均的现象,这个装置必须使用交流电。电蜡烛很快就取得了成功,巴黎卢浮宫大百货商店(*Grands Magasins du Louvre*)的各个部门在 1877 年春安装了 80 根电烛。

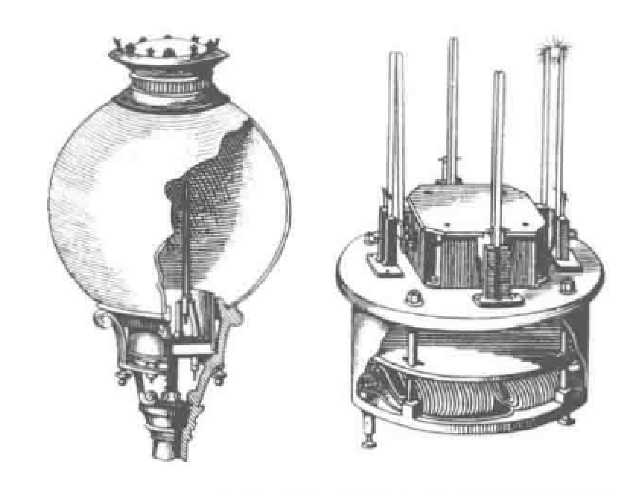


图 116 (左)雅布洛奇科夫的电蜡烛弧光灯,用了两根平行的碳棒,1867 年。(右)雅布洛奇科夫的四电烛弧光灯被拆除球形灯罩时的样子。

1877 年,雅布洛奇科夫的方法在英国的西印度港区(West India Docks)进行了试验。1878 年,第一个小型永久性装置在韦尔斯公司(Wells & Company)的肖尔迪奇(Shoreditch)炼铁厂里建成,它由 6 盏用同一台格拉姆型发电机供电的电烛组成。稍后,这种照明方法出现在比林斯盖特(Billingsgate)的鱼市场,并且沿泰晤士河河堤和霍尔本高架道路进行了街道照明的试验。雅布洛奇科夫是幸运的,因为他很快就在巴黎得到了大量资金的支持。他的设计得到了发展,生产电气总会(*Société Générale d'Électricité*)即后来的电气总公司(*Compagnie Générale d'Électricité*)不仅经销他的弧光灯,还承担了大量的英国早期照明设施的安装工作。

德方丹–莫罗(de Fontaine-Moreau)于 1859 年在法国最先取得了关于镀铜碳电极的专利,后由巴黎的一名制造商卡雷(E. Carré)重新启用。人们发现使用镀铜碳电极既降低了电极的蚀损率,又提高了这类弧光灯的价值,它只需 8—9 安电流,传统设计的弧光灯则需 17—20 安电流。据说,雅布洛奇科夫电烛到 1881 年的使用数量已超过了 4000 盏。不过,由于这种不可调节的灯所固有的缺点变得越来越明显,它最终被废弃了。然而,雅布洛奇科夫在普及电气照明的

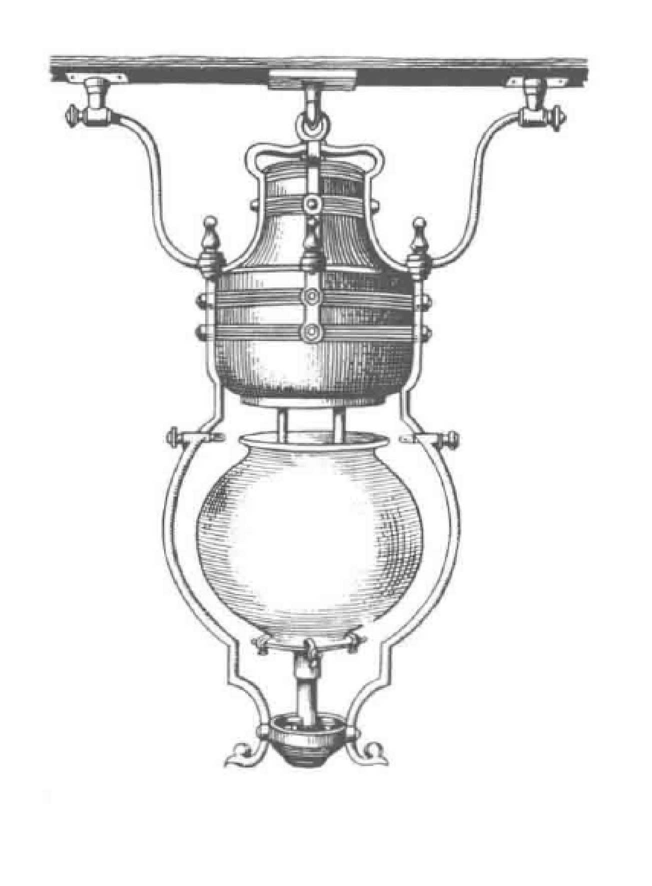




图 117　布拉什弧光灯，约 1880 年。

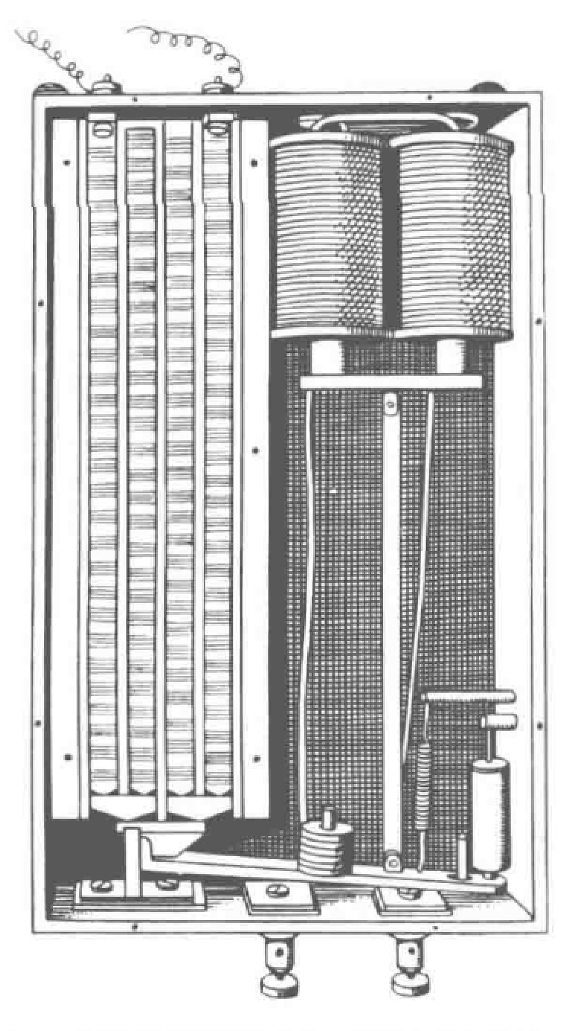


图 118　用于布拉什弧光灯的直流发电机上的自动电压调节器，约 1880 年。

道路上成功地迈出了第一步，他的工作激励了众多竞争者去尝试发明理想的小电流弧光灯。

在美国，最早同电气照明有关的人士之一是布拉什（C. F. Brush，1849—1929），他在 1878 年就能供应直流发电机和弧光灯（图 117）。这一年，他在费城的沃纳梅克商店（Wanamaker's Store）成功安装了一种弧光灯照明装置，由 5 台独立的直流发电机组构成，每台发电机为 4 盏弧光灯供电。这些弧光灯采用并联连接方式，而没有采用当时欧洲所用的串联方式。这显然是他取得成功的最主要原因。1879 年，他因为引进一种自动电压调节器而获得更大的成功，这种自动电压调节器（图 118）是按照“碳堆原理”（carbon pile principle）进行工作的。

10.2 白炽灯丝灯

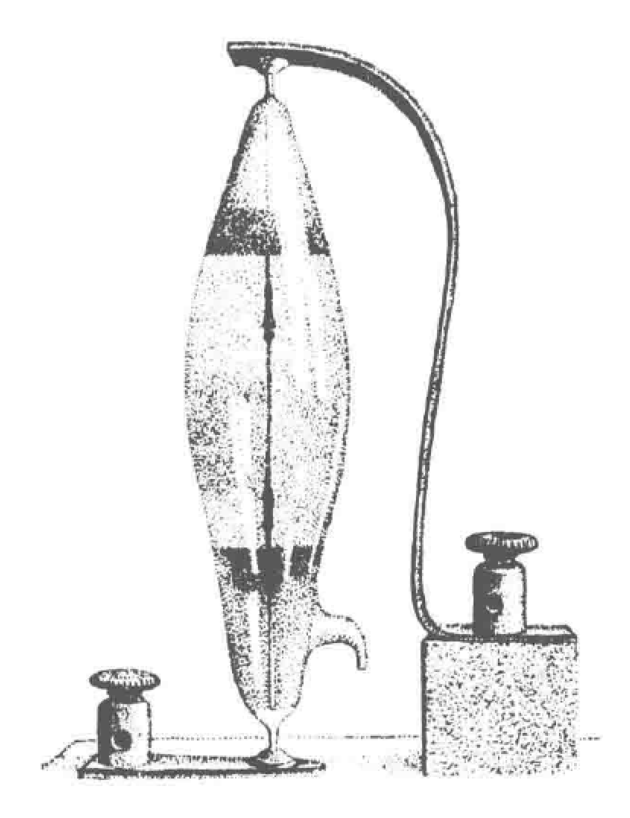


图 119 斯旺的实验性碳灯丝炽热发光灯于 1878 年 12 月公开展出。

从 1847 年起，斯旺就对原始的灯丝灯和那时认为更有希望的弧光灯都很熟悉，但他确信电气照明的未来依赖于前者的完善。他在进行自己的研究工作时，无意中发现了以辛辛那提的斯塔尔（J. W. Starr，1822？—1847）的名义在 1845 年取得的一项专利。斯塔尔主张“运用连续的金属和碳导体，通以电流使其剧烈地发热，达到照明的目的”，他使用的是一张薄薄的铂箔或碳精片，并明确说明在使用时“应将碳精片封装在托里拆利真空中”。斯旺可能已经意识到，用铂灯丝制作的电灯的寿命极短，因而产生了使用处于真空中的白炽碳灯丝的想法。1848 年后不久，他成功地制作出坚固、柔性的碳化纸条，并且没过几年就能使一条宽为 0.25 英寸、长为 1.5 英寸的碳精片发出了白炽光。在 1860 年制作的这种电灯的寿命依然很短，但是斯旺已经认识到，只要真空泵的不够完善仍然阻碍着灯泡获得较高的真空度，只要电流还不得不来源于化学电池，灯丝电灯就不可能成功。于是，他转而从事其他工作，一直到 1877 年都没有回到白炽灯上来。就在 1877 年，克鲁克斯爵士（Sir William Crookes）和其他一些人将施普伦格尔（Hermann Sprengel）1865 年发明的汞真空泵应用于有关高真空现象的实验。斯旺承认，正是克鲁克斯公布的研究成果，使他恢复了对白炽灯的研究工作。1878 年 12 月 18 日，在泰恩河畔纽卡斯尔化学学会（Newcastle upon Tyne

Chemical Society）举办的一次会议上，斯旺那只获得成功的碳灯丝电灯（图 119）首次被展出，尽管它并没被点亮给大家看。

斯旺不愿意为他的方法申请专利，理由是白炽灯的基本特征——一根碳灯丝工作于一个真空的玻璃泡内——早已被人想到，因而不能获得专利。他全身心地致力于将他的电灯投入生产，并且在 1881 年就早早地启动了这项工作。与此同时，美国的爱迪生也在致力于解决同样的问题。他最初认为用任何形式的碳灯丝制作电灯都不可行，而且一度认为自己已经用铂实现了目的。然而，到了 1879 年底，爱迪生用碳做了实验。后来，在 1880 年，他采用了经适当碳化处理的竹丝。1880 年 2 月，这种类型的实验性电灯从美国传到伦敦。与斯旺不同，爱迪生的策略是对每一项成果都申请专利。结果，这位英国发明家不久后就发现自己受到了其竞争者在英国获得的五项技术专利的限制，其中最早的一项专利（1878 年 12 月）包括一种使用金属铂灯丝或铂合金灯丝的白炽电灯。

215

作为斯旺的合作者，斯特恩（Stern）多次催促他要保护自己的创意。在 1877 年与斯特恩合作进行的初期实验中，斯旺发现他的碳灯丝存有空气，这些空气在灯丝第一次白炽化时被释放出来，导致了灯丝的早期质变，并使灯泡内部变黑。为了克服这一缺点，斯旺提出了在密封灯泡前的抽空气过程中使灯丝白炽化的做法（图 120），并在 1880 年申请了专利。

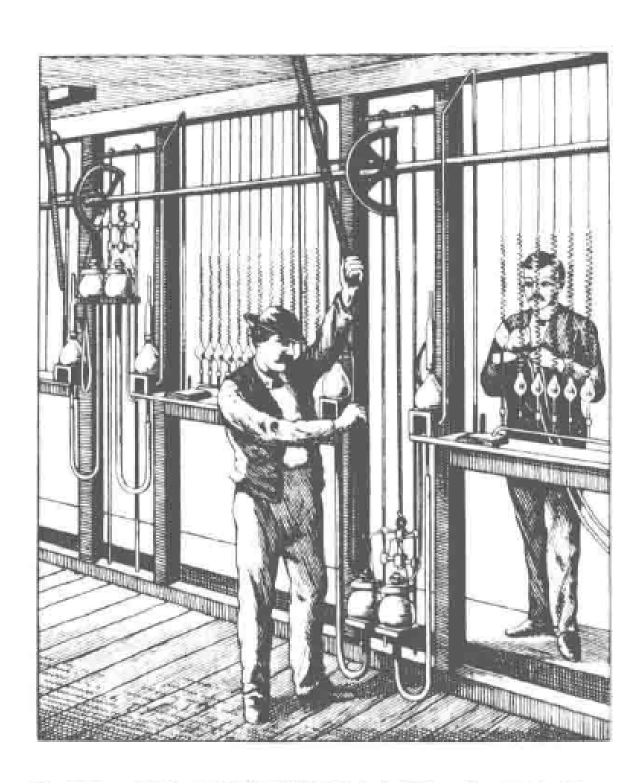


图 120　灯泡工厂使用的汞空气泵，约 1883 年。

斯旺对自己在 1881 年至 1882 年期间用丝光棉线做成的

灯丝并不完全满意，认为用非纤维材料做成更加均匀的灯丝应该是可能的。进一步的研究导致他采用了一种塑性材料——例如溶解在醋酸中的硝酸纤维素，并用压力使这种材料通过金属模具挤压成细丝。这种加工方法在1883年获得了专利，不仅是碳灯丝灯制造上的一次革命，而且还是导致大约20年后制造人造丝的一系列发现中的一个早期环节。

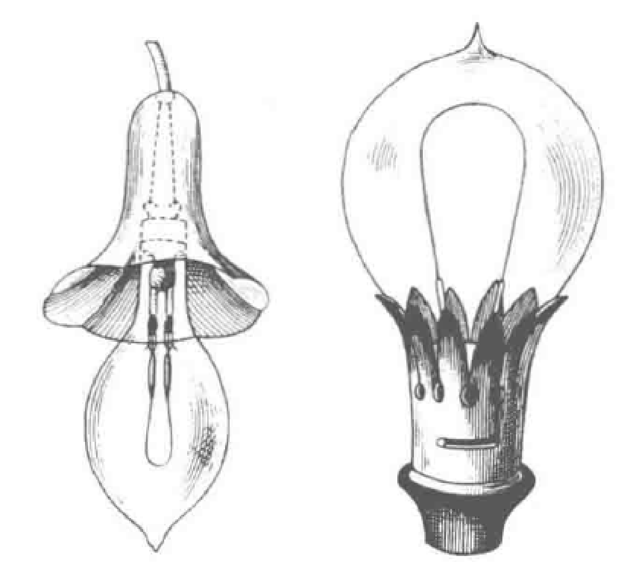


图121 （左）莱恩－福克斯辉光灯，约1881年。（右）布拉什公司制造的具有卡口灯头的莱恩－福克斯灯泡，1884年。

即使在英国，斯旺也不是没有对手。从1878年起，莱恩－福克斯（St George Lane-Fox）就取得了一系列关于灯丝灯的专利（图121）。他先是用铂铱合金来制作灯丝，后来又用一种石墨耐火复合材料作为碳质涂层的载体。这是一位多产的发明家，发明了一种简单而又有效的汞真空泵、一种自动电压调节器和几种累计能量计（图122），而且都是在1882年前发明的。到1882年，他已经将他的专利让给了英美布拉什电灯公司（Anglo-American Brush Electric Light Corporation），这家公司在英国制造了莱恩－福克斯的一些设备。他还把自己的专利提供给在美国的布拉什总公司用于进一步开发。在那里，他的专利得到非常迅速的发展。

216

白炽灯刚刚引起人们关注，就遭到了相当猛烈的抨击。一些美国人认为爱迪生的电灯价值不大，英国的物理学家汤普森（Silvanus P. Thompson，1851—1916）则在1878年声称，“任何依赖于白炽发光的方法都将失败”。到1880年末，被称作“燃烧器”的爱迪生电灯开始大量地生产（图123A），并且在前15个月里大约售出了8万盏。然

而，甚至在1881年，西门子同样对白炽灯的未来持怀疑态度，而且拒绝申请在欧洲开发爱迪生专利的许可证。

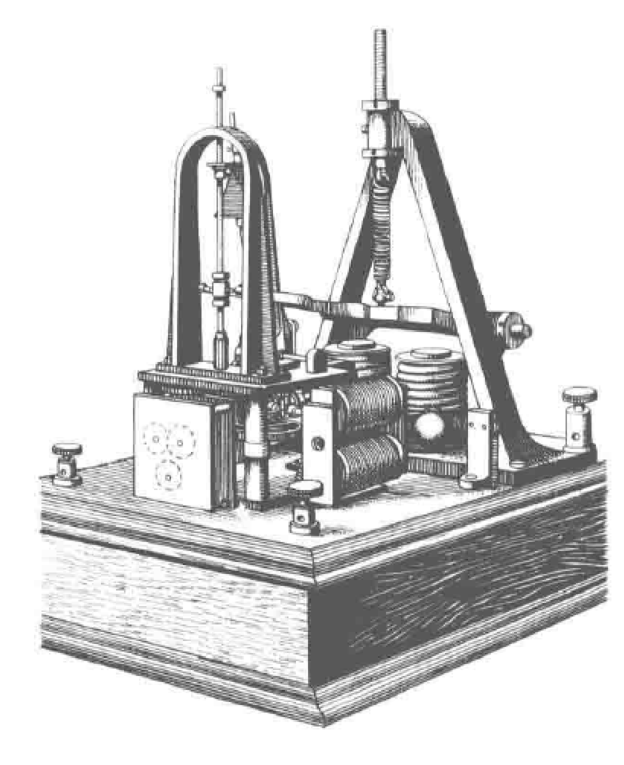


图122　莱恩-福克斯的累计能量计，约1880年。

在工厂的兴旺发达方面，斯旺在纽卡斯尔附近的工厂完全可以抗衡爱迪生的工厂，它一开始就收到了一份来自美国的订单，要求在两星期内提供2.5万盏电灯！因为发生了较大的特性偏差，斯旺的灯泡在制成之后按灯丝的特性来划分等级。它们按照工作电压和大致烛光值来出售，而且根据斯旺的记录，每盏灯泡的性能在出厂之前都会被记下。1882年，爱迪生控告斯旺的公司侵

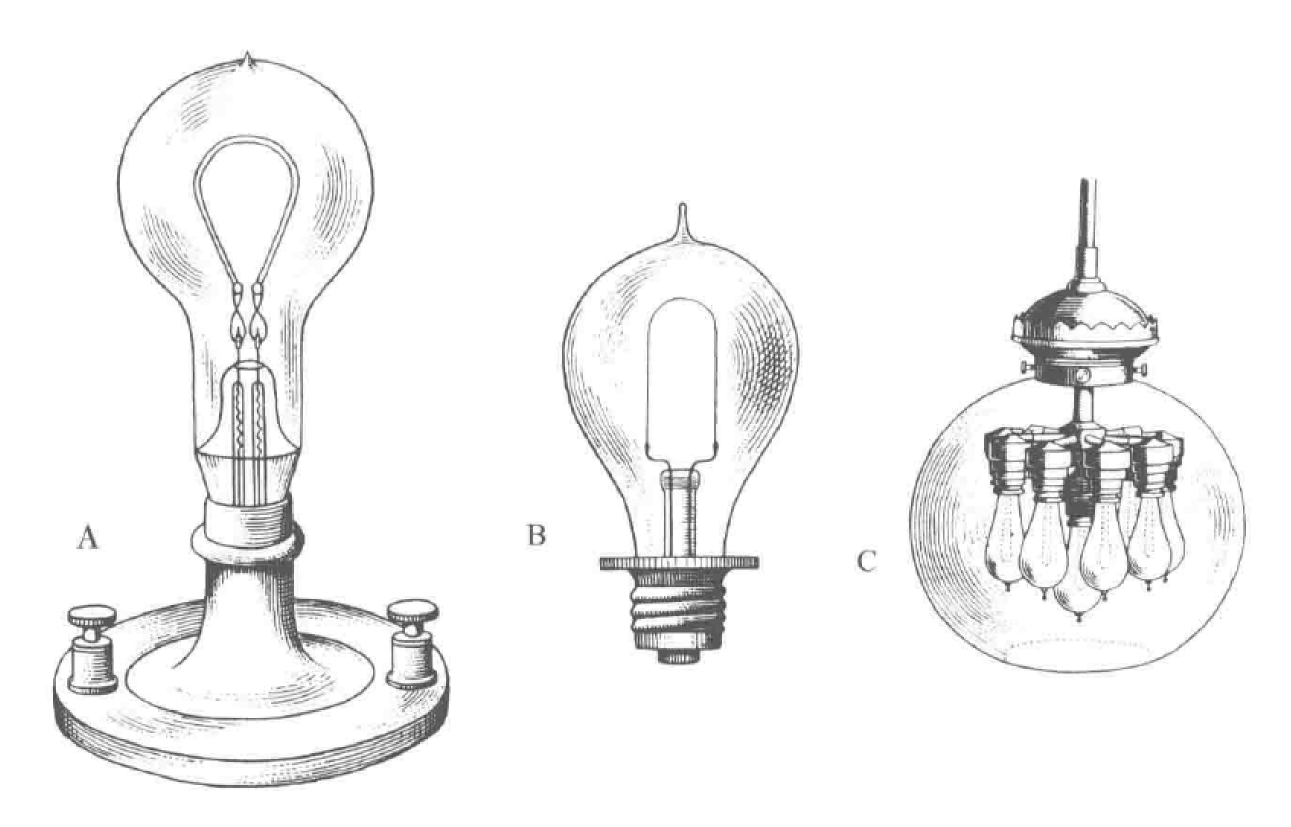


图123（A）爱迪生的碳灯丝灯，约1881年。（B）爱迪生的碳灯丝灯，约1882年。（C）爱迪生的集簇灯，约1884年。

犯了他的英国专利权，但并没能得到一份阻止斯旺制造电灯的禁制令。后来，他们用合并的办法和睦地解决了这一纠纷，建立了爱迪生－斯旺联合电灯有限公司（Edison and Swan United Electric Light Company Limited），以100万英镑的额定股本在1883年10月进行了注册。

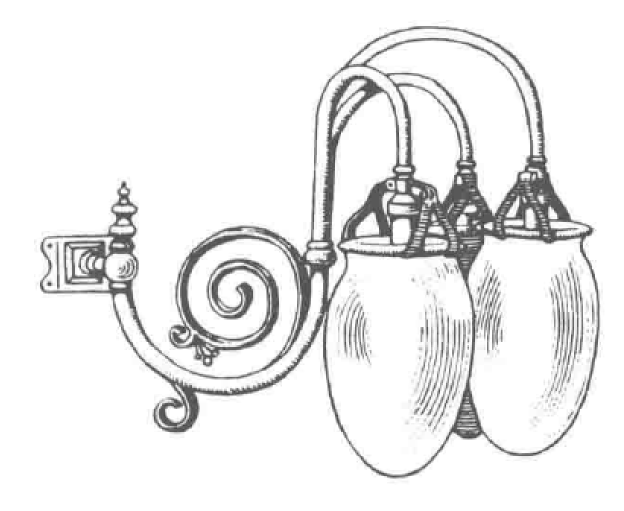


图124 伦敦萨沃伊剧院使用的斯旺电灯的支架，1881年。

继斯旺在自己那幢位于泰恩河畔盖茨黑德的家中安装了白炽灯之后，阿姆斯特朗爵士（Sir William Armstrong）那幢位于罗斯伯里附近的住房最先安装了这种电灯，电流来自一台由水轮机驱动的发电机，据说这是英国的第一台水力发电设备（1880年12月）。很快，开尔文勋爵（Lord Kelvin）在他的私人住宅里也采用了这种新的照明，而且在1884年让他的母校剑桥大学圣彼得学院也进行了安装。不过，从1881年6月起，英国的下议院就已经享受到了宜人的白炽电灯了。

1881年6月，计划使用这种新电灯的第一艘英国远洋轮如愿以偿，它就是英曼航运公司（Inman Line）的“里士满城号”（*City of Richmond*）。皇家海军也不甘落后，挑选出海军舰艇“不屈号”（*Inflexible*）进行了初步试验。1881年，斯旺的电灯被实验性地用于从伦敦到布赖顿的一列专门列车，采用福尔（Faure）蓄电池提供电力。1881年，未完成的一套最著名的电灯装置安装在伦敦萨沃伊剧院（Savoy Theatre）（图124）。根据斯旺的统计，那里用了824盏电

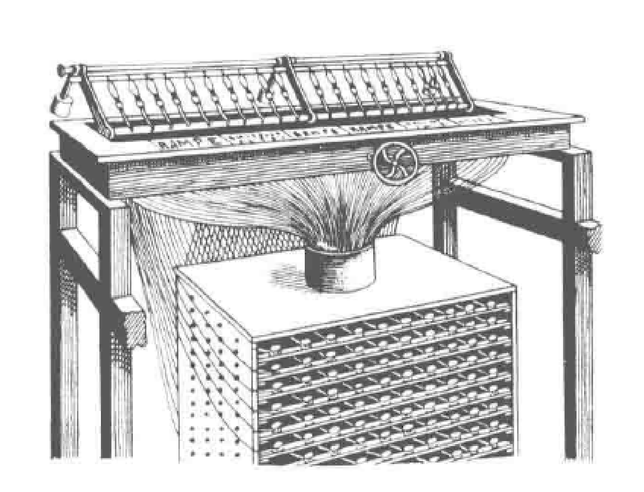


图125 德国使用的舞台灯光控制器，约1887年。

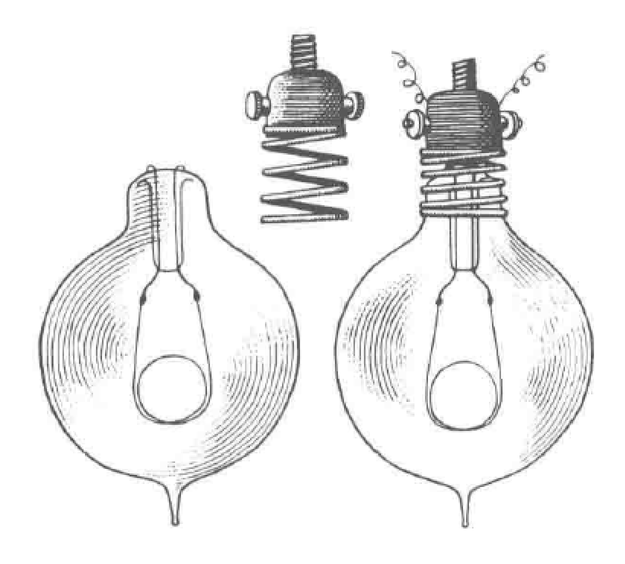


图 126　斯旺的碳灯丝灯。图中显示了接触钩和装有弹簧的灯座。这种类型的灯座是由吉明汉姆发明的，它一直使用到约 1884 年出现卡口灯头时为止。

灯来为舞台照明，还有 370 盏电灯用在这座建筑物的其他部位。图 125 给出了大约同一时期在德国使用的一个舞台灯光控制器。1882 年，采用了斯旺电灯的公共建筑物有伦敦市长官邸、大英博物馆和皇家科学院等。

在这一时期制造的电灯，大致分为 36 伏 16 烛光、41 伏 18 烛光和 46—54 伏 20 烛光等种类，一只额定 20 烛光的电灯大约要用 1.34 安电流。1884 年前后，作为英国灯泡特征的卡口灯头由英美布拉什公司推出。螺旋灯头（现在仍是美国的标准灯头）从一开始就是爱迪生灯泡的一个特征（图 121、图 123B、图 123C）。吉明汉姆（C. H. Gimingham）的灯头如图 126 所示。

从 1885 年起到 19 世纪末期，白炽电灯的制造技术一直稳步发展，最初很高的生产成本也逐渐降了下来。1898 年，煤气灯白炽罩的发明者韦尔斯巴赫成功地发明了锇丝电灯。1905 年出现了钽灯丝，几年后又出现了钨灯丝。以每瓦流明数来表示电灯效率的话，这个数字从 1881 年的大约 1.4 上升到了 1900 年的 4.0，这说明技术大大进步了。

10.3　电报

在第Ⅳ卷第 22 章中已经描述了电报的产生及其在英国的发展情况，这是库克爵士（Sir William Cooke，1806—1879）和惠斯通爵士（Sir Charles Wheatstone，1802—1875）的功绩。到 1850 年，多家电报公司已经出现，第一家电报公司以"电动电报有限公司"

(Electric Telegraph Company Limited) 的名称注册，库克将自己的专利转让给了这家公司，并成为它的董事。到1855年，这家公司已经拥有和管理着英国约4500英里长的电报线路。它的最大竞争对手是创建于1850年的“英格兰和爱尔兰磁力电报公司”(English and Irish Magnetic Telegraph Company)，拥有2200英里长的电报线路。

1839年，第一条电报线路在帕丁顿和西德雷顿之间开通，采用五针式设备，传输的字符在接收端由一个指示盘上五根针中任两根针的针轴交点指明。这个系统具有直读的优点，但是设置五条互相绝缘的导线的成本是很高的(每英里大约需要165英镑)，这一缺点限制了它的进一步发展。为此，库克和惠斯通发明了双针式设备，不久后又采用了单针式设备。由于使用直读设备的原始想法被放弃，必须要有一种信号代码，于是人们确定针相对于垂直轴的向右和向左的运动代表着“点”和“画”，而这些“点”和“画”则根据莫尔斯(Samuel Morse，1791—1872)电码等价于字母表的各个字母。虽然莫尔斯电码并非这类代码中的第一种，但它变成了最著名的电码。

库克和惠斯通都各自独立地发明了ABC或称直读指示盘式电报机。与这种类型的装置有关的其他人包括西门子和布勒盖(Breguet)，前者的仪器在英国被采用，后者的设备则在欧洲大陆国家受到欢迎。1850年，电报尚属幼年时期，设备和方法都处于迅速变化的过程中。然而，值得注意的是，在实用电报术发展的最初20年内所采用的那些做法，人们在今天还在亦步亦趋地仿效着。

最早的电报线是由5条麻包铜线组成的多芯电缆，由格林尼治的恩德比兄弟公司(Enderby Brothers)在1838年制造，被称为“电报绳”。事实证明，地下电缆的维护费用太昂贵了，因而库克在1842年申请了一项关于悬空架线方法的专利，将铁线、铜线或者绞合导线(由许多铁线缠绕在一根中央铜芯线上构成)用一根根木杆悬吊着延

220 伸出去。这种架设方法先前已由莫尔斯在美国提出，库克有可能受到了他的启发。库克发现涂敷油漆或柏油是“一种昂贵而又无效的铁线防锈方式”，决定试一试当时新出现的镀锌工艺。1845 年，库克和惠斯通提议“应用被铅管包覆的导线”。同年，扬（Young）和麦克奈尔（McNair）取得了另一项关于制造电导线的改进方法的专利，他们用编织的棉线裹住金属线，穿入铅管并填以沥青。这项专利的说明书相当详细，甚至包括了对一种压铅机的描述。此外，这两位发明家还提议用铅护套来作为接地线回路。

到 1845 年末，布雷特（Jacob Brett）取得了关于一种印字电报机的专利，它后来在美国以“豪斯的电报机”（House's Telegraph）而闻名。在这一专利中，还有一种“海洋线路”（oceanic line）的发明。它是先将导线上清漆，“用涂蜡的或干燥的棉织物包裹住，再与涂蜡或涂油脂的细绳编结起来，于是一条浸透柏油的编结电缆就整个儿地制成了”。在布雷特 1848 年的一项专利中，除了为许多其他装置和电报机附件写了说明，还第一次明确提出了用生橡胶来作为电报线的绝缘介质，当然这些橡胶要溶解在苯、甲苯或某种类似的溶剂中。

221 库克在 1842 年的一项专利中谈到印度橡胶的使用时，联想到对铺设在列车车厢顶盖上的铜线的保护。然而，他是打算利用这种材料作为绝缘介质，还是仅仅为了使铜线能够耐受风吹雨淋，人们就不清楚了。1848 年，巴洛（Barlow）和福斯特（Foster）获得了关于一种机器的专利，这种机器的功能是用经过一种硫化过程而得到的古塔波胶、宝贝胶（cowrie gum）和硫黄的一种化合物来包覆电报线。同年，电动电报公司的董事长里卡多（J. L. Ricardo）获得了一项关于将两根或更多电报线合成一体的专利，方法是“将它们包封在两根古塔波胶条之间，包封的方式要使每一根导线都与其他导线绝缘，也与外界的物质绝缘”。

橡胶进入欧洲工业的情况将另文叙述（第31章）。尽管橡胶是一种绝缘体，但一开始还不适合于电气应用。1843年，当时驻新加坡的蒙哥马利（William Montgomerie）向皇家艺术学会递交了一份详细的报告，叙述了一种在马来亚被称为“古塔波胶”[1]的材料的特性。他认为这种胶在许多方面优于南美洲橡胶，而且产地在大英帝国的统辖之内，因而具有极大的优越性。

在检验了古塔波胶的样品之后，法拉第表示事实证明它可能是一种有用的电绝缘体。作为橡胶工业的早期开发者。汉考克（Thomas Hancock）很快意识到这种新发现的材料对他的事业的重要性，并在1845年建立了伦敦古塔波胶公司（Gutta-percha Company of London），即后来的电报机建造与维修有限公司（Telegraph Construction and Maintenance Company Limited）。

电动电报公司的注意力转到了这一新材料在线路绝缘上的应用，非常希望在可能的地方采用地下电缆，以应对在城市内使用架空线遭到的反对。最初（1847年），它们试图将古塔波胶辊压到铜线上，即让导线和软质的绝缘材料通过一对截面是半圆形的辊轴。然而，人们发现，绝缘物在两根辊轴的结合部很容易裂开。1848年7月，汉考克终于发明了后来用于制造所有用古塔波胶包覆的地下导线的机器。在取得这项专利之后，他又做了其他一些实验，在一根古塔波胶芯子内包覆数根导线。这种方法做成的一种典型电缆，是用7根被包覆在一根直径约5/16英寸的古塔波胶芯子内的导线构成。

222

最早铺设在伦敦街道下面的电缆里面，有3根被包覆在一根古塔波胶芯子内的铜线。由于事实证明这样的电缆成本很高，电动电报公司或是以铁线代替铜线，或是将导线增加到4根（这样就使电缆

1 古塔波胶（gutta percha）源自马来语 *getah percha*，意即“percha树之胶”。有好几种树能产这种胶汁，特别是 *Isonandra*（或 *Dichopsia*）*gutta* 树。

重量成为每英里约 415 磅），以便争取降低成本。在许多情况下，维修多线路电缆的代价（包括为了修理一条线路而使数条线路所受到的干扰）促使人们恢复使用以两层或多层古塔波胶来绝缘的单根导线（1861 年）。在欧洲大陆上，电缆靠掺入硫黄的古塔波胶绝缘，这样做能使它的介电性能得到改进。不过，用不了多长时间，硫黄便会使古塔波胶变得很脆，而且它与铜接触后会生成硫化铜，使导线受到腐蚀。1853 年以前铺设的一些地下电线没有成功，是因为它们被置于铅制的电缆槽之中。伦敦和布赖顿和东南铁路公司（London and Brighton and the South-Eastern Railway）的电报线尤其如此，这些地方的人们发现铅过一段时间就会把古塔波胶分解掉，造成电线短路。另一个没想到的麻烦是，地下电线的古塔波胶护套在一定条件下会受到霉菌的侵蚀而腐烂。

西门子所获得的专利中，有一项描述了用硫黄来处理古塔波胶的方法——“把完全脱水的古塔波胶和弄成粉末状的硫黄混合起来（采用滚筒装置），在蒸汽室内加热，它们的化学合成物便生成了”。在同一项专利中（1850 年），还描述了一种铺设地下线路用的类似于“暗沟犁”或称“鼹鼠犁”（mole plough）的设备，由一个机架构成，此机架在一把凹形刀具或称“鼹鼠”的前端装有一把犁刀，绝缘导线（来自机架上的卷轴）由“鼹鼠”上的一些导槽引导着在其中穿行。“这一装置可用一台固定的发动机来牵引，也可用蒸汽机或畜力来推进。”它的改进型采用了一辆机车，可适用于各种土壤，这也在专利 223 中进行了描述并用图形显示出来。“在含石土壤或沙质土壤的情况下，应在导线上包裹一层薄铅皮，即把导线埋入地下时，把铅皮薄带从卷筒上呈螺旋状地绕到导线上……另一种类似的设备可用来在水下铺线，它可以靠一条缆绳来拖着行进，缆绳的另一头则绕在岸上的一台卷扬机上，还要有一名潜水员在旁边看护，也可以把缆绳系在一艘蒸汽船的尾部，导线卷则放在船上。”

利用“沥青、石油或特立尼达的天然沥青”来包覆电报电缆使它们绝缘，是科克伦（Cochrane）在1851年取得的专利，他对特立尼达的沥青湖拥有一份产权。但人们通过试验发现，在短时间暴露于大气之后，这种沥青就变得易于裂开了。因此，它不如古塔波胶那样令人满意。后来，沥青被成功地应用于电力电缆的绝缘。

1852年，菲齐克（H. V. Physick）找到了进一步改善电报线绝缘的方法，用一种像本白平纹布那样的纤维材料作为承载古塔波胶、柏油、沥青或其他绝缘物质的媒介。两年以后，他还提出在多芯电缆中以不同颜色的绞合线来区分各路导线。在1853年1月获得的专利中亨利（W. T. Henley）最先提出用铁丝对电缆进行外部铠装，这样可对“地下的和海底的”电缆都起到保护作用。

电报继电器是由戴维（Edward Davy，1806—1885）发明的。他在1838年7月得到的专利中进行了描述。然而，法拉第显然在1836年就有了中继作用的概念，库克记录的一次谈话（他对这次谈话显然不理解）说明了这一点。在这次谈话中，法拉第“不愿告诉我他对于流体（伏打电流）以足够的量所能通过的距离的看法，但是他指出，只要距离有12—20英里，那么电流又可以继续通下去”。另一项引人瞩目的发展（1854年）是沃克（Robert Walker）的系统，信息能够通过这种系统在一根单一的电报线路上同时向两个方向传送。这种双工电报的目的是提高传输的速度，但是，它的问世过早了。在1854年的时候，通信密度方面还未出现问题。因此，虽然电动电报公司对此进行了实验，但是双工电报并未被采用，而是一直被人遗忘。直到大约20年后，它才被重新发明和重新提出，成为一项极为重要的技术。

最早的关于电报交换机的设想出现在1851年授予杜蒙（F. M. A. Dumont）的专利中，他宣称发明了“一种在大城镇的内部传送信息的特殊的电线组合法”。他描述说：“在使用这种方法的大城镇中，有一

224

个中心站与一定数量的房屋相连，各个房屋或用户可以不公开地与中心站通信。任何希望与其他用户通信的用户都可以通过中心站直接连通。”这个专利还设想到了发出火警或盗警的可能性，而且包含了一些似乎更适于电话系统的想法。看上去，杜蒙似乎充分意识到了电信的社会潜力。

10.4 自动电报

1838年，戴维发明了第一台实用的化学电报机，用带电的针与经过化学处理的靠时钟机构转动的纸卷相接触来收发电报，在自动电报的方向上迈出了第一步。它在伦敦公开展出了几个月以后，这位发明者由于资金困难被迫放弃自己的工作而移居澳大利亚。贝恩(Alexander Bain)采用了他的想法，并在1864年获得了一项关于一种自动发报装置的专利。这种装置中，穿孔纸带被送入一个发报机构，信息则在线路远端由一台化学记录仪记录下来。当时演示了每小时传送多达400份电文的实验，但由于现在仍然难以确定的原因，这些尝试以及这项发明被放弃了。其他一些开发者获得了关于上述装置的改进型的专利，只是没有哪一个人取得真正的成功。

然而，用穿孔纸带来操作自动电报机的方式却获得了青睐，例如惠斯通自动电报系统(1866年)被电动电报公司所采用。人们发现，在大约280英里长的线路上，这一系统每分钟能处理55—80个字码，具体数目取决于所用导线的截面积。到1879年，由于机构上的改进，在最佳条件下，同样的距离已经达到每分钟至少能处理200个字码的速度。此时，大约有170部这样的设备投入运行。需要说明的是，惠斯通的发明所依据的原理沿用至今。

1867年，由开尔文勋爵发明的巧妙的波纹收报机使海底电缆电报实现了自动操作，并大约在1870年得到普遍应用。后来，谬尔黑德(Muirhead)又将它做了大大简化。

10.5 海底电缆电报

海底电缆电报的历史始于1845年，那一年，布雷特兄弟（Jacob Brett & John Watkins Brett）创办了通用海洋电报公司（General Oceanic Telegraph Company），建立起英、法两国间的电报通信。在得到法国政府的特许之后，第一条海底电缆在1850年铺设成功，但几乎马上就失败了。第二年，一条不同类型的电缆替换了它，使用了近20年。此后，其他的海底电缆电报工程一个接一个地迅速跟上。海洋电报公司早就立下雄心壮志，"运用电报工具，建立一个从不列颠群岛出发，跨过大西洋到达新斯科舍省及加拿大各省，到达原英属北美殖民地，以及到达大陆各王国的通信联络方式"。

第二条海底电缆从威格敦郡的帕特里克港到都柏林，1853年在布赖特爵士（Sir Charles Bright，1832—1888）的指挥下铺设，当时他是英格兰和爱尔兰磁力电报公司的工程师。这一工程的成功促使他打算铺设一条大西洋电缆，并在1853年到1855年组织了一系列广泛的实验，借此将英国各地现有的电报线路串联起来，线路总长超过2000英里。根据所得的实验结果，他已经能够预见到后来出现的一些传输方面的困难。

以布赖特为工程师的大西洋电缆公司（Atlantic Cable Company）在1856年登记注册，英国政府和美国政府都承诺如果它获得成功将予以支持，这使得准备工作进展非常迅速。铺设爱尔兰和纽芬兰之间线路所需的2500英里电缆，在6个月内就制造完成，这在当时是一项了不起的成就，更不用说事实上还为此拉制和绞合了1.7万多英里长的铜线。1857年8月，铺设工作从爱尔兰的西海岸开始进行，但是仅仅铺了不到300英里，电缆线路就断裂了，端部掉入了2000英寻深的海底。人们极度失望，知道工程必须推迟到第二年，因为到那时才能造出足够的电缆以弥补损失。在第二次尝试中，载着电缆总量之一半的"阿伽门农号"（*Agamemnon*）船险些毁在一场猛烈的暴风雨中。

在这次尝试中，铺设工作从大西洋中的电缆连接处开始，两艘船从这里出发向两端进行铺设，结果电缆断裂了5次以上，每一次都不得不使两艘电缆船和它们的护航船回到起始地点。在海上度过了6个星期之后，船队又一次失败地返回了港口。似乎每一种迹象都表明，应当放弃这项工程。然而，1858年8月5日，第三次尝试竟以胜利告终了。

226

不久，人们发现在电缆的运行过程中出现了一些意外的困难，最主要的问题是信号阻滞，这是由导线和海水之间的大电容引起的。更有甚者，电缆在使用了几个星期之后，绝缘层严重变质导致无法使用。人们接着又发现，电气技术人员在一次被误导而试图应用陆地信号传输方法的时候，已经将电池组的单元增加到500个，而且与感应线圈一起使用，这就使得电缆的绝缘层要承受大约2000伏的电压！几年以后（其间发生了美国南北战争），人们才筹集到足够的资金，重新尝试建立与美国的电报通信，经过1865年的多次失败，终于在第二年取得了成功（第Ⅳ卷，边码661）。开尔文勋爵的开创性工作，对取得这一成功起了很大的作用。

10.6 电话

“电话”（telephone）[1]这一名词最初是指通过一段距离传播声音的任何装置。众所周知，声音能通够过固体和水传播，也可以沿着绷紧的金属线和通话管传播。胡克（Robert Hooke，1635—1703）在用一条绷紧的金属线进行关于声音传播的实验之后指出，“距离1浪远而听到耳语声并不是不可能的，这已经做到了。而且，或许从这件事的本质上来讲，即使将距离从1浪扩展到10浪，它也完全是可能的”。

第一部实用的电话由美因河畔法兰克福的赖斯（J. Philipp Reis，

1 《牛津英语词典》（*Oxford English Dictionary*）把此词归于1835年出现。

1834—1874）在1861年制作并演示，但它看起来不过是一个科学玩具。通常认为，贝尔（Alexander Graham Bell，1847—1922）的工作是以德国物理学家和生理学家亥姆霍兹（Hermann Helmholtz，1821—1894）的研究为基础的。多年以来，亥姆霍兹一直从事声音再现的研究工作，发明了一台用来模拟人喉所发元音的装置。贝尔重复了这些实验以及同时代其他科学家的一些实验，终于发明了那台联系着自己名字的工具。1876年，他首先在英国和美国获得了这种电话机的专利。1877年，在英国科学促进会（British Association for the Advancement of Science）的普利茅斯会议上，传到英国的贝尔电话机的最早样品进行了展出。

随着电话在伦敦和其他地方的广泛亮相，第一家商业性的电话企业于1878年在英国开张。它使用了进口的电话机，一开始在肯特郡的奇斯尔赫斯特运营。最初，电话只是被作为在两个地点之间进行私人对话的工具，但是经过在美国的发展，第一台电话交换机1879年在伦敦建立。

227

贝尔的电话机有一个本质上与耳机一样的电磁式话筒，与现在仍在使用的话筒属同一类型。但是，爱迪生的碳精话筒在1878年传到了伦敦。1912年以前，电话系统一直由私人经营。邮电部在这一年取得了英国国立电话公司（National Telephone Company）的资产，电话业的私人所有权从此全都终止[1]。在英国，长途电话技术始于1878年的一次实验。这次在诺里奇和伦敦之间的一条私人线路上进行的实验表明，长途通话是可行的，从此建立起城市之间的电话线路，首先是在地区内，继而连通了从地方城镇到伦敦之间的电话线路。在20世纪，由于引入了电子设备，远距离通信得到了很大的改进。

1 但在赫尔河畔金斯顿仍有一家地方政府的电话企业在运营。

10.7 无线电报

虽然无线电通信和各种电子设备的巨大发展是20世纪的一个特征，但应当指出的是，许多电磁辐射基本理论在1900年以前就完成了，而且已经用实验证实了可应用性。

麦克斯韦(Clerk Maxwell)电磁理论体系的一个必然结论是，“波”可由一次电扰动产生，与光波类似，并且以相同于光波的速度传播。事实上，他把光波也看作电磁波。赫兹(Henrich Hertz，1857—1894)则致力于用实验来证实这一预言，确认了辐射的存在(1887年)，还测定了它的许多特性。他的发射机是一种电火花振荡器，有两块金属板，分别起到谐振器和天线的作用。他的接收机也具有类似的构造，如果接收电路的一个小间隙中出现了电火花，就表明已经收到了由发射机辐射出来的电磁波。赫兹系统所用的波长约为24厘米，因此能演示电磁辐射的“光”特性(如反射和偏振)。

虽然赫兹的发现和实验装置没有立即取得巨大的发展，但他的成果并没有全部被忽视。例如，在1895年，卢瑟福(Ernest Rutherford，后来的欧内斯特勋爵)在剑桥借助于他在新西兰发明的一种新型检波器，成功地将信号发射到0.75英里远的地方。另一位先驱是洛奇爵士(Sir Oliver Lodge，1851—1940)，他认识到有一种感应线圈可以用作一种调谐电谐振器的工具(1897年)，还发明了无线电波的金属粉末检波器。在所有这些早期的工作者中，最成功的当属马可尼(Guglielmo Marconi，1874—1919)，他在意大利完成了最初的实验，后来到了英国，并在1896年取得了他的第一项专利。下苦功夫致力于可行设备的完善化，证实无线电通信的潜在应用性，终于创立了商业性的无线电通信系统。尤其重要的是，他开发了波长远比赫兹所发现的波长要长的无线电传播技术，最先证实300—3000米数量级的波长远比短波更适用于通信。直到20世纪20年代采用相对灵敏的电子检波器后，波长在10—100米的远距离信号传输才成为可能。至

228

于赫兹所用的波长，则直到更近的年代才被有效地利用。

1895年，马可尼把信号发送到了1英里以外。在英国，这一距离扩展到2英里、4英里和9英里。1897年，马可尼创办无线电报公司（Wireless Telegraph Company）第二年启用了一套，用于东古德温的灯船和南福兰灯塔之间通信的设备。不久，无线电报第一次介入了战争（布尔战争）。马可尼的惊人成就正好降临在新世纪，1901年12月12日，他成功地在康沃尔郡的普尔杜（Poldhu）和纽芬兰的圣约翰斯之间发送和接收了横跨大西洋的信号，这是他的第一次尝试。

10.8 电力的输送和分配

电力应用普及以后，在19世纪40年代至80年代期间，电报技术开发取得的许多经验得到了很好的利用。与橡胶绝缘电缆、铅包电缆和金属线铠装电缆有关的制造工艺发展起来，造成地下电缆变质的原因也找到了。诚然，电报电缆的绝缘要求和110伏、220伏供电系统的电力电缆的绝缘要求大不相同，但这种不同仅仅是所要求等级的不同。不管在什么情况下，对于电报电缆来说，所用橡胶的厚度取决于力学方面而不是电气方面的考虑。

早期中心发电站的建造方式已经介绍过了（第9章）。最初的配电方式是直流两线制，电压最高为110伏。对电缆网配电理论作出显著贡献的是开尔文勋爵。1881年，他在英国科学促进会上宣读了一篇题为《金属导电体的节约措施》（*The Economy of Metal Conductors of Electricity*）的论文。在这篇论文中，他考察了影响电力传输系统成本的各项指标，阐明了一个从此被称为开尔文定律[1]的关系。

伦敦国王学院的电气工程教授霍普金森（John Hopkinson）是直流供电系统的积极提倡者之一，曾经被美国爱迪生公司英国分部聘请为 229

1 具体地说，导线最经济的截面积是使得给定时间内能量损失的代价等于这段时间内占用资本的利息和贬值时的导线截面积。

顾问工程师。然而，无论是在英国还是美国，几乎都没有人注意到霍普金森对爱迪生机器和设备系统的成功所作出的贡献。例如，霍普金森发明了直流三线制配电系统，并在1882年7月获得了专利，但这一系统却被宣布为爱迪生的发明，其实爱迪生只是从1883年起在美国对它进行了广泛的宣传而已。

这种三线制提供了一种由单独一台发电机以回路电压的两倍电压对两个双线主回路供电的方法。起初，两根外输出线之间的电压是220伏，每条外输出线和中线之间的电压是110伏。随着系统的扩大，人们很快发现应该将电压分别提高到440伏和220伏，把电动机连接在440伏的导线之间也成为一种习惯做法。三线制的一大优点是能节省铜，根据所选中线的等级，省铜量为25%到50%不等。在这样的体制中，不可能保证两个双线回路的负载相等，因而有必要采用手动的或自动的平衡装置。这种装置由两台可逆式直流电机组成，它们各自连接在一根外输出线和中线之间，在机械结构上是连在一起的。当每根外输出线和中线之间的电压相等时，两台机器就处于待机状态。在电压不平衡的情况下，连接在电压较高的外输出线上的机器便作为电动机而转动，驱动它的配对机并使其成为一台直流发电机。这样，配对机的输出就使得电压恢复平衡。三线制的一种扩展是五线制。大约在1889年，巴黎采用了这种五线制，曼彻斯特在1893年也采用了这种制式。但是，人们普遍认为，节省铜这一经济上的优势，至少已被维持各组双线回路的合理电压平衡这一困难抵消了。

在考察早期供电企业的详情时，给人印象最深的是供电电压相差很大，这显然有各种各样的原因。最初制造的斯旺灯泡是以50伏左右的电压工作的，这是为了让它们适用于当时的弧光灯电路。但是，人们很快发现以这种电压从中央电站向外分配电力明显很不够经济。在美国，爱迪生电灯以100伏电压来工作，不久后，斯旺也

能生产类似的灯丝灯，但他们都还没有打算采用更高的电压。设计这一系统的过程中出现了观点的分歧，例如发电机电压是不是应当为 100 伏，是不是应当考虑到线路上的电压降，使发电机的输出电压为 105 伏或 110 伏，以保证让用户电压接近或达到 100 伏。随着所有回路上的负载增大，电压降问题就变得更为突出，把电压增高 10% 以弥补配电损耗的做法便被人们接受为一种标准。没过几年，大多数高压供电系统和大量运行于低压状态的系统，都选用 110 伏的整数倍作为电压值。

230

随着电力用户的增多，流经主干线的电流增大了，加上主干线变得更长，由电压降引起的电力损失问题就变得更加严重。对于主管中央发电系统的工程师来说，可以采取下列四种可能的补救措施。（1）变直流电为交流电，并以高压进行配电，这样就可以减少损耗。高压电将由用电当地的变压器降压，以供各用户使用。这一解决办法是由费朗蒂（Ferranti）首先提出的，并且最终被采用了（边码 200）。（2）可以在一个供电系统内增加直流发电站的数目，当然这是一种很不经济的做法。（3）给主干线提供高压交流电，并在当地的变电站中用旋转式变流器转换为低压直流电供使用。不过，这种旋转式变流机的效率远低于 100%。（4）高压直流电借助于一种旋转式变压器，可以在变电站里降为低压直流电。这种旋转式变压器是由格拉姆在 1874 年发明的，有两套电枢绕组和装在单独一个转子上的两个整流子，这个转子在单个磁场系统中旋转，其中一套电枢绕组驱动机器以使它作为电动机运行，另一套绕组则发出另一种电压的电。

大型旋转式变流机在美国被应用于电解工艺过程，但直到 19 世纪 90 年代末期才被英国的一些供电网络所接受。它们还被大量用来为铁路和有轨电车线路提供直流电。早在 1897 年，伦敦中央铁路线上就采用了一些 900 千瓦的变流机。在 20 世纪，旋转式变流机在一

定程度上被汞弧整流器和其他种类的整流器所代替，后者被用于需要直流电但又只有交流电供应的工业单位。

在英国，切尔西电力企业应用了旋转式变压器。它们由埃尔韦尔－帕克公司（Elwell-Parker）制造，功率为40千瓦，以500伏电压运转，输送给用户干线的电压为100伏。牛津电气公司（Oxford Electrical Company）所使用的另一些旋转式变压器以1000伏电压运转，输送给用户的电压为100伏，功率为40千瓦。在沃尔弗汉普顿，则安装了一些2000伏的设备。

10.9　电动机

电能的最显著特性是可移动性，它能被沿着一对导线传送到任何地点。人们尝试过从一个中心工厂向较小的用户点输送能量的其他方式，但没有任何一种方式像电的方式那样便利或有效。通过这种方式，锅炉的热能或瀑布的动能被转换成电能，然后由用户的电动机将它转变为机械能。从技术上看，这就是迄今为止电的最重要的作用。电能作为一种光的来源，在更近的年代里作为一种热的来源、一种传送信息的手段以及化学过程中的一种动因，显然已经改变了工业实践的面貌。电能最重要的意义在于，把或大或小的动力送到劳动者的手上或身边。

231

人们认识到了这一点，不过是慢慢地认识到的，因而电动机的发展也显得特别缓慢。后来，人们几乎立即就感到，不管电动机的效率如何，除了在特殊情况下，靠化学电池来获得机械能绝对不可能是经济的。即使出现了高效率的直流发电机和交流发电机，从电力系统所获得的机械能看来也远少于投入的能量，这是因为过程中的每一步都涉及能量的损耗。因此，当具有中央发电站的配电系统随着白炽灯的出现而发展起来后，电动机凭借便利性而不是效率首先受到称赞。但是，人们从那以后意识到，在燃烧同样燃料的情况

下，可以从高效的大型发电厂中获得比从一大群小型固定式热机或铁路机车上获得更多的隐藏在燃料中的能量。而且，水力如果不用于发电，就永远不能得到充分的利用。

电动机的原理是由法拉第在1821年论证的，并用“巴洛轮”（Barlow's wheel）非常简单地进行了示范（1823年）。将电磁力转换成旋转运动的早期装置构造粗陋，使用效率很低，因此在1873年以前没有出现有商业价值的电动机。1873年，格拉姆和他的合作者方丹（Fontaine）在维也纳展出了一种由分别作为发电机和电动机的两台格拉姆电机组合而成的可逆装置。这样，只要有实用的直流发电机（边码188），就可以认真考虑将它应用于工业。格拉姆电动机只能用于直流，自从1882年左右开始建立起交流配电网络，缺乏一种适宜的交流电动机的问题就变得十分尖锐。在美国，特斯拉（Nikola Tesla，1856—1943）发明了第一台应用感应原理的交流电动机。他的功绩在于发现了旋转的交流磁场和多相交流电系统。特斯拉的第一批电动机由威斯汀豪斯制造的，但第一批完全成功的感应电动机可能是布朗（C. E. L. Brown）在苏黎世的厄利孔工厂（Oerlikon Works）制造的那一种，也可能是柏林的公共电气公司（*Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft*）的总工程师多利沃－多布罗沃尔斯基（M. von Dolivo-Dobrowolsky）设计的那一种。1891年的法兰克福世界电工博览会上，展出了这两种电动机的样机。 232

这些早期的感应电动机没有整流子，但仍属于绕线转子式。其中，一种最坚固又最普遍的感应电动机采用了特殊形式的转子，即所谓的“鼠笼”。这个名称源于它的构造形式，一些刚性导体以均匀的间距跨接在两个端环之间，形成了一个圆柱体的“笼子”。这种转子是由多利沃－多布罗沃尔斯基发明的。

这种感应电动机受制于当时流行的设计而具有某些局限性，并不

适合于某些应用，特别是电力牵引方面的应用[1]。在1880年至1900年以及随后的一段时期内，人们在英国、法国、德国和美国进行了大量的理论研究，终于出现了交流整流子电动机。首先涉足这一领域的可能是英国的威尔逊（E. Wilson）和德国的乔治斯（H. Georges）。在同一年里，威尔逊发明了串绕电动机（1891年），乔治的具有并励特性的电动机获得了专利。

在1891年的法兰克福世界电工博览会上，四年前在德国和美国取得专利的同步电动机第一次以商品形式亮相，展出的样机由拉迈尔和舒克尔特公司（Lahmeyer and Schuckert）的德国商行制造。大约也是在这一时期，在研究了鼠笼式感应电动机的起动特性之后，多利沃－多布罗沃尔斯基提出了巧妙的改进方案，即今天所称的“双鼠笼”。这种电动机特别适用于需要较高起动转矩的场合，例如用作起重电动机或牵引电动机。在19世纪末期以前，这类电动机几乎没有人使用，以至于今天它们主要与布舍罗（Boucherot）的名字相联系，他在后来的日子里开发了这种电动机。

在这一时期，直流电动机的发展并没有被忽视，因为到1900年以及此后的一些年月里，直流供电系统一直占统治地位。设计者们的努力方向是改进直流电动机的机械结构和整流装置，以及减小单位马力电动机的尺寸和重量。许多早期的直流电动机是“开放”式的，绕组和整流子没有防护，它们实际上是由其他直流发电机或输电干线供电的直流发电机。人们很快就发现，这样的电机不适合一般的工业应用，于是出现了把电机密封起来的要求。最早的完全屏蔽的大负载电动机是为在有轨电车和铁路上使用而开发的，到1900年时已有几家制造厂能够提供。除了一些小规模的实验性线路，例如在展览会上铺设的那些电气铁路，第一条公用的电气铁路可能是1881年由西

233

1 以电为动力的交通运输业从1881年起开始缓慢地发展。到1887年时，只有少量的有轨电车在美国和欧洲行驶，但是这种城市交通方式后来终于得到了大发展。普通铁路上的电力牵引从1890年起得到了迅速的发展。

门子 – 哈尔斯克公司（Siemens & Halske）建造在德国的利希特费尔德（Lichterfelde），车辆由一台机车拖动，铁路以三轨制方式运行。在英国，北爱尔兰波特拉什的电气铁路在 1883 年投入运行，采用了西门子的机械和设备，最令人感兴趣之处是靠水轮机来获得电力。

在直流电动机性能方面的一项最大的单项改进，是采用了被称为“极间极”的辅助磁极，但直到 1906 年前后才被付诸实施。早在 1889 年时，就有人提议用碳电刷来代替铜丝网整流子电刷，因为它能大大减少整流子的磨损。但是，碳电刷真正得到了普遍的使用已经是四年以后的事情了。

参考书目

Bright, A. A. 'The Electric-Lamp Industry.' Macmillan, New York. 1949.

Bright, E. B. and Bright, C. B. 'The Life Story of Sir Charles Tilston Bright' (2 vols). London. 1899.

'Correspondence and Reports on the Subject of Comparative Trials of Electric Lighting at South Foreland-August, 1876 to July, 1877.' Trinity House, London. 1877.

Crompton, R. E. "Cost of Electrical Energy." *J. Instn elect. Engrs*, 23, 396, 1894.

Cuthbertson, J. 'Practical Electricity and Galvanism.' London. 1807.

Dredge, J. (Ed.). "Electric Illumination", Vols 1, 2. Offices of *Engineering*, London. 1882, 1885.

"Electric Light at the British Museum." *J. R. Soc. Arts*, 27, 990, 1879.

Fahie, J. J. 'A History of Electric Telegraphy.' London. 1884.

Hopkinson, B. (Ed.). 'Original Papers by the late John Hopkinson' (2 vols). University Press, Cambridge. 1901.

Mackechnie Jarvis, C. "The History of Electrical Engineering", Pts 2, 5. *J. Instn elect. Engrs*, 1, 145, 1955; 2, 130, 584, 1956.

Preece, G. E. "On Underground Telegraphs." *J. Soc. telegr. Engrs*, 2, 369, 1873.

Preece, W. H. "Telegraphy: its Rise and Progress in England." *Ibid.*, 1, 228, 1872.

Report to the Trinity House on Lighthouse Illuminants. Ref. C. 4551. Pts I, II. Board of Trade, London. 1885.

Sabine, R. 'The Electric Telegraph' (2nd ed.), p. 9. London. 1869.

Swan, M. E. and Swan, K. R. 'Sir Joseph Wilson Swan, F. R. S.' Benn, London. 1929.

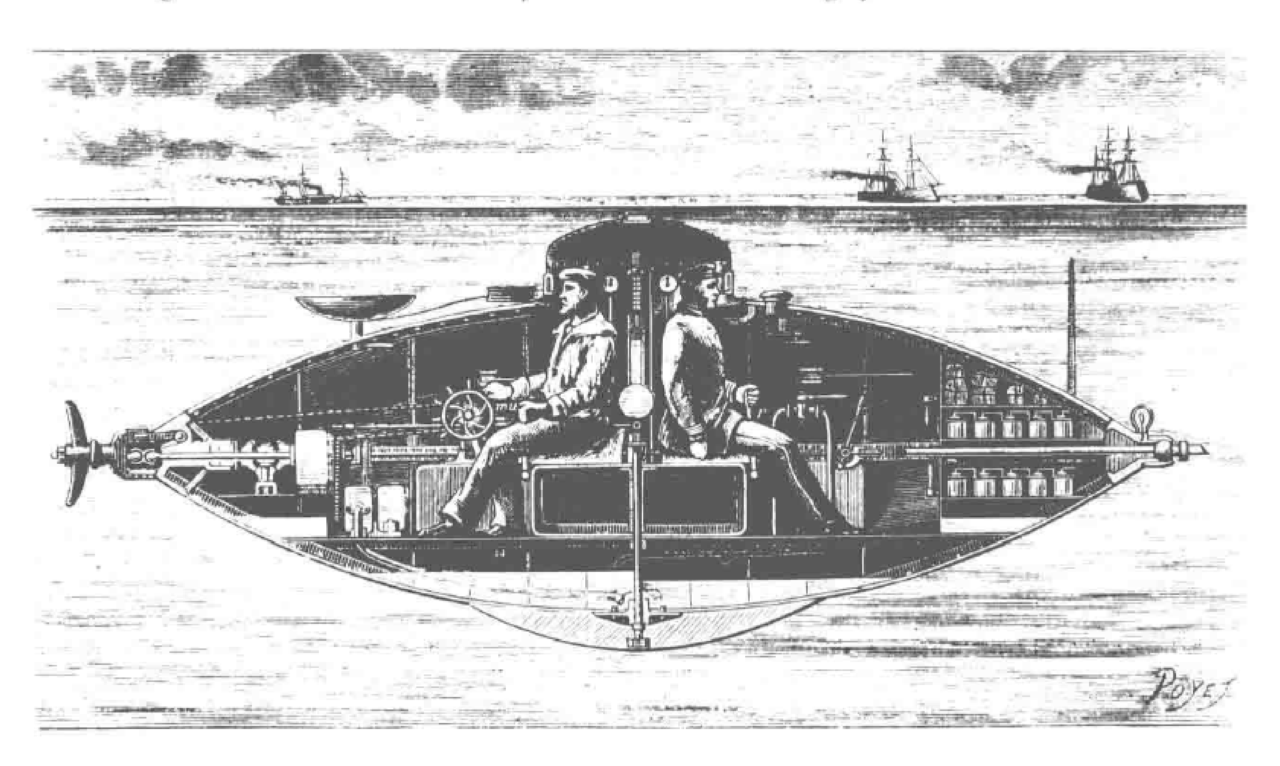
'The Telcon Story.' Telegraph Construction and Maintenance Company, London. 1950.

Thompson, S. P. 'Life of Lord Kelvin' (2 vols). Macmillan, London. 1910.

Watson, J. J. W. 'A few Remarks on the Present State of Electrical Illuminators.' London. 1853.

Webb, F. H. (Ed.). 'Extracts from the Private Letters of the late Sir William Fothergill Cooke (1836–9), relating to "The Invention and Development of the Electric Telegraph".' London. 1895.

234



电动机很快就得到了许多应用。古贝 (Goubet) 的这艘最早用电力推动的潜水艇于 1889 年 5 月在瑟堡接受了试验。在与水面进行电报通信的时候，它潜在 33 英尺深的水下达 8 小时。

Webber, C. E. "Electric Lighting from Central Stations." *J. Instn elect. Engrs*, 20, 54, 1891.

Wolf, A. 'A History of Science, Technology, and Philosophy in the Eighteenth Century.' Allen & Unwin, London. 1938.

参见：

Lumière électrique, Paris. 1879–.

Telegraphic Journal and Electrical Review, London. 1872–.



第4编

化学工业

第11章 重化工产品

特雷弗·I. 威廉斯（TREVOR I. WILLIAMS）

19世纪后半叶，虽然化学工业在产品的种类和总量方面都有了巨大的发展，但其中两个方面的发展使其他所有方面都黯然失色，从而引起我们的特别注意。一个是合成有机化学工业的诞生和成长，这是珀金（W. H. Perkin）在1856年发现第一种合成染料苯胺紫带来的结果，这一发展的某些方面将会在后面几章（第12章，第14章）进行详尽论述。另一个就是关于纯碱制造的吕布兰法（Leblanc process）的淘汰，它被索尔维法（Solvay process）或称氨碱法所取代。要知道，在这段时期开始时，吕布兰法被视为化学工业舞台上的一个永久亮点。

纯碱（碳酸钠）在工业上的重要性，特别是与纺织工业有关的重要性，在这里没有强调的必要，因为在前面关于吕布兰法发展的说明中已经论述过（第Ⅳ卷，第8章）。鉴于这种重要性，两种可供选择的纯碱制造方法相互争夺优势的一场长期斗争，在化学工业界内外产生了深远影响，也就不足为奇了。因此，本章宜以说明这场斗争的主要特点为开始，因为在讨论这个时期其他化学工业发展的时候，必定会涉及这些特点。

为给后面的叙述提供大致背景，我们可以指出，从原则上看，吕布兰法与氨碱法相比，从一开始就处于十分不利的地位。在最初

形式中，吕布兰法是肮脏的，会产生许多难以处理的有害废物，需要耗费大量燃料。比较起来，氨碱法是清洁的，不会留下不溶性残渣，所需燃料不到吕布兰法的一半。这样两种方法能在竞争中并存超过30年，是令人惊奇的事情。这种并存的原因部分在于氨碱法出现了许多技术困难，需要很长一段时间来克服，更主要的则在于采用吕布兰法的厂商学会了更有效地进行技术和管理工作，并且利用废物获得利润，而这些废物曾经令他们如此讨厌和为难。说来有点自相矛盾的是，对于英国采用吕布兰法的厂商，当初需要一个议会法案——1863年的《碱法》(*Alkali Act*)——来强制他们采取措施防止有害废物的泄漏，然而没过多少年，就需要再有一个法案来禁止他们这样做了。

11.1 吕布兰法纯碱工业的后期发展

讨论化学工业的发展，需要回顾一下最初的吕布兰法的主要步骤。这种方法是用硫酸处理食盐形成硫酸钠，同时产生一种当时很不受欢迎的伴随物盐酸气雾，再用煤和石灰石的混合物煅烧硫酸钠，产生出被称为“黑灰”的东西，主要含有纯碱和硫化钙。把它用水浸提，从中提取出纯碱，留下碱性的残渣或称“加利古”(galligu)。由于每生产1吨纯碱就产生出2吨残渣，它从一开始就造成了严重的问题，不仅是一种十分有害的产品，经常把制造商卷进与受侵害的邻居的诉讼之中，而且严重浪费了资源，因为里面大多数昂贵的硫不能回收，这些硫来自吕布兰法第一阶段所用的硫酸。

处理盐酸的问题相对容易解决，尽管不是很快。J. 马斯普拉特(James Muspratt，1793—1886)用一个大约300英尺高的烟囱来消散盐酸气的努力，只能说取得了部分成功。1836年，戈西奇(William Gossage，1799—1877)发明了一种水塔，让盐酸气在其中被一股水流所吸收。他“应用了一种由能提供很大表面积的材料

做成的深床，水被驱使着从床上流过，其方向同烟和气体的方向一致”，这种塔的本身是由“石头或黏土经模压而制成的砌砖”建造的[1]。这项发明具有深远的意义，因为它建立了一个关于气体吸收的一般原理，成为涉及化学工业品的必需操作。戈西奇证明，为了发生气体吸收，增加水对气体的接触面积是重要的。这是一个很重要的进步，因为仅在几个月前，拉特维奇（Thomas Lutwyche）曾经提出一项关于吸收盐酸的专利，认为重要因素是水的体积而不是水的表面积。

戈西奇的这些水塔十分有效，它们使第一部《碱法》（1863年）得到切实可行。这部法律要求制造者要吸收掉他们的废气中95%最低限度的盐酸。但是，这些水塔做了比除掉这种十分令人讨厌的东西更多的事，回收的有潜在用途的酸成了一种有用的副产品。除了具有本身的化学用途外，这些酸还含有氯，在纺织、造纸和其他工业中，氯以漂白粉的形式（漂白粉是由石灰和氯化合而成的）而受到广泛的需求。

为把这种处于化学结合状态的氯从盐酸中释放出来，人们设计了两种主要的方法。迪肯（Henry Deacon，1822—1876）发明的一种方法是将盐酸气与空气混合，并在一种催化剂上通过，这种催化剂能够加速化学反应而自身不在其中被消耗，通常是一些在氯化铜溶液中浸过后在约225℃的温度下烘干的陶制球[2]。在这样的条件下，盐酸被氧化放出氯，但要使这个反应完全发生并不现实，因此它的生成物往往被空气、未起变化的酸和水蒸气所稀释。1870年，迪肯提出了另一项专利[3]，其中描述了一种可以从这种稀氯气中制造出强力漂白粉的反应式。

韦尔登（Walter Weldon，1832—1885）在1869年至1870年期间予以完善的方法中，盐酸通过二氧化锰被氧化成氯。这个方法其实已经使用了好多年，但一直受到一个缺陷的困扰，那就是在反应末期，昂

贵的锰以氯化物的形式存在，很难重新生成二氧化锰。韦尔登发明的回收锰的方法中，用石灰石和石灰的混合物处理这些氯化物，然后用空气从中吹过，这样就形成了一种浆，其中几乎所有的锰再次以二氧化锰的形式出现，可用于下一个操作循环。

韦尔登的方法具有深远的影响。漂白粉的产量翻了两番，在英国价格每吨降低了6英镑。据报道，5年之内，世界上只剩两家制氯工厂还没有用这种方法。在授予韦尔登促进会（*Société d'Encouragement*）金奖时，伟大的法国化学家杜马（J. B. A. Dumas，1800—1884）这样指出，“由于韦尔登先生的发明，世界上的每张纸和每码本白布都便宜了下来”。加工漂白粉是危险的作业，要求使用保护服和一种厚厚的麻絮“防毒面具口罩”，以保护鼻子和咽喉。

虽然大量的氯被制成漂白粉，但人们发现它还有其他重要的用途。例如，它可以制成氯酸钠和氯酸钾，火柴工业尤其需要后者（边码253）。最普通的制造方法是将氯通过石灰或氧化镁的悬浮液，生成氯酸钙或氯酸镁，再用氯化钾分解，生成氯酸钾和氯化钙或氯化镁。

238 大量碱性废液的利用困难很大，主要的问题是如何从中回收有价值的硫。1861年，后来成为氨碱法在英国应用的创始人之一的蒙德（Ludwig Mond，1839—1909）设计出一种方法，当年和次年先后在法国和英格兰[4]获得了专利。这种方法通过复杂的一系列操作，可回收约1/3的硫。它并不是全新的，主要是用空气氧化这些废液，浸提生成物，再用盐酸处理生成的溶液，从而分离出硫。蒙德来到英格兰时，与化学工业的奠基人之一哈钦森（John Hutchinson，1825—1865）建立了合作关系，后者1847年曾在威德尼斯的桑基运河（Sankey Navigation）东岸建立了一个吕布兰法纯碱厂。两个人之间的合作并不愉快，问题出在起草一份具体说明蒙德法中的各项权利应该如何分配的合同上，哈钦森坚持说蒙德法实际上是在他的工厂

里发明的。不过，哈钦森在双方达成协议之前便去世了。1866年，实施最终形式的蒙德法的车间终于在威德尼斯建成。之后，这种方法也被伍德恩德的J. 马斯普拉特、圣罗洛克斯的坦南特（Tennant）以及英国国内外的许多其他工厂所采用，总计大约签发了60份许可证。然而，尽管经过了种种改进，蒙德法却从来就不是一项伟大的成功，后来由于钱斯（Alexander Chance，1844—1917）发明了一种新方法而黯然失色。

不过，在讨论钱斯的方法之前，必须提及戈西奇在1857年所设计的另一个方法[5]。他已经为解决碱废物处理问题奋斗了约30年。当然，戈西奇只是众多同行者中的一个，因为包括德国的沙夫纳（M. Schaffner）和苏格兰的麦克蒂尔（J. MacTear）在内的许多工业化学家，也曾仔细地做过研究。1882年，这种方法被贴切地描述为“制碱业中的一种鬼火，而且［它］诱惑着许多好人，即使不是走向毁灭，也是走向彻底的失败”。戈西奇指出，从烟道气中获得的碳酸气（二氧化碳）会把废物内的一些硫转变为硫化氢，其中所结合的硫就可以使用。尽管这样的奢望受到了挫折，戈西奇也应当得到赞扬，而且他确实得到了。当钱斯把自己的方法完善之后，用了下面的赞词：“我确信，假如戈西奇先生在他持续的研究过程中，拥有可以随意支配的近代机器和设备以及强有力的碳酸气泵——这些由于科学的进步让我们在1887年唾手可得的东西，那么找到我将要叙述的方法的，应该是他而不是我们。”[6]

钱斯的方法与戈西奇的方法基于同样的事实，假如使二氧化碳吹过碱废物，硫化氢就将被释放出来。钱斯的成功在于设计出了一种相当于两次浓集的方法，它产生出一种硫化氢浓度足够大的气体，能够令人满意地用来进一步提取硫。第二步操作由于在1882年及时出现了关于克劳斯窑（Claus kiln）的专利而成为可能，克劳斯窑起初是为了从煤气中排除硫而设计的。

239

由克劳斯（C. F. Claus）设计的这种窑[7]是一个矮胖的塔，约25英尺宽、10英尺高，其中装填着沼铁矿。来自钱斯碳化装置的含有高浓度硫化氢的气体，流经窑内时部分地被氧化成水和元素硫，收集在底部的一个井坑内。虽然钱斯–克劳斯法使吕布兰法继续维持了若干年，但只是推迟了必然来临的末日而已。不过到1893年时，这种方法的实施规模已经相当大，每年在英国足可生产3.5万吨的硫黄。

如前所述，钱斯的成功与戈西奇的失败，主要是由于在他们着手解决这个问题的间隔中，用泵抽吸二氧化碳的方法得到了改进。非常令人感兴趣的一点是，这显示出当时化学工业界的一种时代精神。钱斯关于这方面的许多资料竟然都来自蒙德，后者在研究具有竞争力的氨碱法时也曾借鉴过别人的资料，钱斯这样提及蒙德："承他惠助，我深表感谢。他把自己在生产中和抽吸碳酸气广泛实践中得到的成果让我随意使用。在这样一场以氨碱法制造者为一方、吕布兰法制造者为另一方，正在为生存而进行的激烈竞争中，他竟肯如此帮助一位竞争对手，毫无保留地把宝贵的个人技术经验提供出来。面对这样一位著名的制造化学家，我们不能说骑士精神已经消失和过时了吧。"[6]

其他各种技术改进也帮助延长了吕布兰法的寿命。例如，黑灰的浸提看来是一个简单的过程，结果证明也能做出许多改进。起初人们使用的是一种粗糙的包括一级级水槽的逆流提取法，水从一个槽流到另一个槽，黑灰则沿反方向被费力地从一个槽铲到另一个槽。在法国，克莱芒–德索尔姆（Nicolas Clément-Désormes，1770—1842）和他的继父C. B. 德索尔姆（C. B. Désormes）设计了一种方法，黑灰被放在一种穿孔容器中进行提取，这种穿孔容器可以悬挂在水槽内。然而在英国，只有J. 马斯普拉特使用了这个方法，它同样是既费力又昂贵。以尚克斯（James Shanks，1800—1867）的姓命名的尚克斯大槽（Shanks's

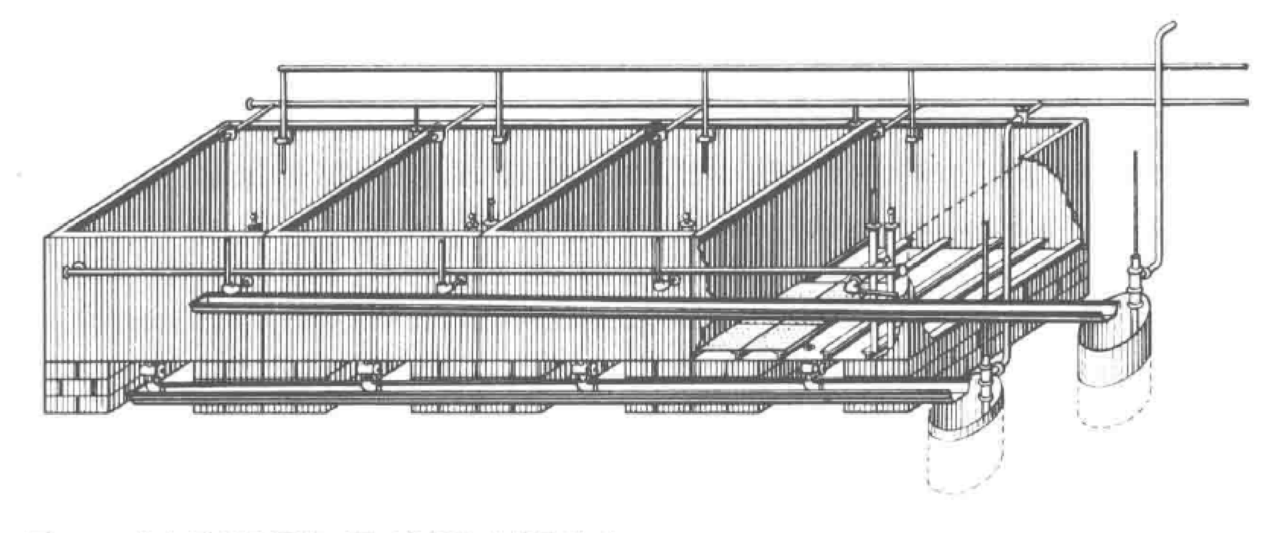


图 127　尚克斯型浸提槽，用于从黑灰中提取纯碱。

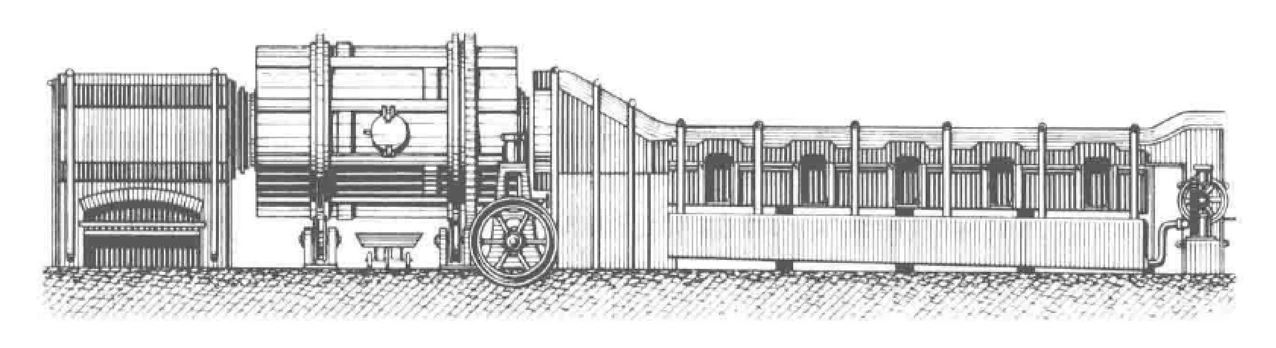


图 128　约 1870—1880 年建于许多制碱工厂的一种黑灰“转炉”。

vat）发明于 1861 年，把这项发明归功于尚克斯可能是正确的[8]。 240

这项很大的改进基于下述原理，一个弱碱液液柱的静压比具有同样高度的一个强碱液液柱的静压要小，这样两个液柱的静压相互平衡的话，液体将会发生流动（图 127）。

在早期的吕布兰制碱法工厂里，把芒硝、石灰石和焦炭的混合物放在炉内用长铁棒搅拌，使之成为“球状”，后来这个操作实现了机械化。1853 年，埃利

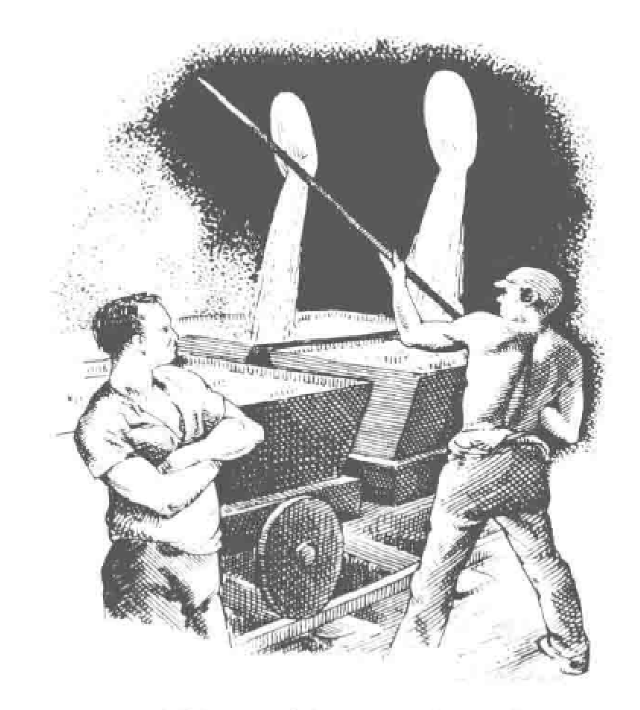


图 129　从旋转的黑灰加热炉中放出炉料。

奥特（George Elliot）和拉萨尔（William Russell）获得了一种黑灰“转炉”的专利[9]，但此类型装置大约20年后才得到普遍使用。这种转炉是一个铁鼓，直径约为10英尺，长度为20英尺，内部衬砌耐火砖，能用机械转动。从加热炉来的炽热气体通过一个烟囱排出去，当反应完成时排出熔灰（图128、图129）。

英国使用的第一个转炉由圣海伦斯的鲁滨逊（Thomas Robinson，1814—1901）铸造，他是化学工业重型铸件的一流专家之一。和当时大多数铸工一样，鲁滨逊几乎没有受过科学训练，尽管他当过一位药剂师的学徒。不过，他是一位精明的鉴别者，能够鉴别出某些特殊类型的生铁，用它制出具有充分防腐蚀性能以满足碱和其他化学工业品严格要求的容器。在威德尼斯，他的两个转炉至今仍在运行，用于制造硫化钠，方法相当于旧式吕布兰法的第二步，但不用石灰石。

11.2 氨碱法

241

追溯了吕布兰法在这个时期的主要技术发展后，该是转而讲述它的成功对手的时候了，为此必须回到1872年以前的许多年。1872年，氨碱法首先被索尔维兄弟（Ernest Solvay & Alfred Solvay）在比利时应用成功。但早在1811年，法国工程师和物理学家菲涅耳（A. J. Fresnel，1788—1827）似乎已经知道，假如将氨溶入浓盐水达到饱和，再通入二氧化碳，就会有碳酸氢钠析出，用加热的方法很容易把它转变为纯碱。实质上，反应分两步进行。首先氨与水和二氧化碳化合形成碳酸氢铵，碳酸氢铵再与食盐（氯化钠）反应形成氯化铵和碳酸氢钠，后者相对比较难溶，就从溶液中析出成为沉淀物。氨能由氯化铵再生，如果加热碳酸氢钠，二氧化碳也会再生。就像已经指出的那样，这个反应的简单性隐藏着许多实际上的困难，其中之一是氨的再生导致氯化钙的形成，这是一种长期没有销路的产品。

隆格(Georg Lunge，1839—1923)是19世纪化学工业的权威，他对这种有利于菲涅耳的说法表示怀疑，认为这些说法是“基于一封私人信件中某些完全不明确的暗示”。但可以肯定的是，许多化学家随后对这种氨碱法给予了认真的注意。1836年，在卡姆拉基(Camlachie)的特恩布尔－拉姆奇公司(Turnbull & Ramsay)的工厂中，汤姆(John Thom)通过用碳酸氢铵处理食盐的方法，以每天2英担的速度制造纯碱，不过一年之后便停止了作业。稍后，在1838年，伦敦化学家戴尔(H. G. Dyar)和亨明(J. Hemming)获得了一种通过食盐与碳酸氢铵相互作用制成纯碱的方法的专利[10]，他们显然不知道汤姆的工作。在位于怀特查珀尔的工厂中，这两位化学家试着对这种方法进行商业化操作，取得了不大不小的成功。主要的困难看来是氨——一种十分轻而且具有挥发性的气体——的流失，后来的尝试也证明了这一点。在怀特查珀尔，他们接受了J. S. 马斯普拉特(James Sheridan Muspratt，1821—1871)的访问。后者终于说服了他的父亲J·马斯普拉特，让他相信这种方法有可能让人们从那些与有害的吕布兰法作业分不开的烦恼诉讼中解脱出来。一座具有相当规模的工厂在默顿建成，马斯普拉特为此损失了8000多英镑。戴尔和亨明的专利作业工厂还建在柏林和利兹，利兹工厂的纯碱在市场上销售了许多年。 242

显然，制碱成功完全取决于有效的装置设计，特别是在避免氨的流失方面。但是，成功仍然不愿来临，而且还有许多失望和代价高昂的失败。1854年，戈西奇取得了一项专利。迪肯与皮尔金顿(William Pilkington)共同研究戴尔－亨明法，但皮尔金顿后来失去了信心抽身退出，迪肯转而与加斯克尔(Holbrook Gaskell，1813—1909)合作。加斯克尔在威德尼斯资助了更多的氨碱法实验，当花费了几千英镑而没有实际成效时，他成了第二个幻想破灭者，加斯克尔－迪肯工厂最终转向了传统的吕布兰法。

在1852年至1855年间出现了许多专利。马赛的格里尼斯(Grinus)建议用冷冻法增加产量，因为冷冻可降低氨的挥发性。还是在法国，蒂尔克(Turck)获得了一项改进型专利，他在靠近南锡的索默维莱(Sommervillers)进行试验，但没有成功。大约在1854年，罗兰(Rolland)和施勒辛(Schlösing)在靠近巴黎的皮托建立了一家工厂，运用他们声称的一种连续工艺，用石灰石处理氯化铵，使氨再生。然而，尽管他们试图通过低压状态下的工作去减少氨的流失，但还是不可能把这种流失控制在经济许可的范围内，因而这家工厂在仅仅制造出约300吨纯碱后，便在1857年关闭了。不过，这次失败是自戴尔和亨明的尝试以来最引人瞩目的商业冒险。1858年，黑伦(F. Heeren)进行过一次关于氨碱法的重要的理论研究[11]，遗憾的是，他的实用性建议没有得到相应的评价。

对这些早期尝试的进一步讨论，几乎可以无止境地继续下去，但它们从技术上看并不是很重要。纵观历史，伟大的、决定性的、向着工业化迈进的下一步，是由E.索尔维(Ernest Solvay，1838—1922)在比利时跨出的。他的发现作为一种实际的经营项目而取得的发展，在很大程度上归功于他的兄弟A.索尔维(Alfred Solvay)。

243

有一个非常值得注意的真实情况，那就是索尔维在相当长的一段时间内，一直认为自己是氨碱法基本化学反应的第一个发明人。他在1903年时说：“在确信我的发现的重要性后，我急忙于1861年4月15日在比利时申请了专利。由于我是单独工作的，而且又获得了专利，我认为只有我一个人知道这个反应，而且我有权要求与此有关的全部权利。今天，这样的无知应该是不可原谅的。但是在40年前，既没有这样多的技术刊物，也没有如此高效的专利局。”

索尔维的主要贡献是一个碳化塔(图130)，用它可使氨碱法的反应过程连续进行。同时代的其他重要发展，还有制造二氧化碳的窑

（图131）和煅烧碳酸氢钠的窑（图132）。索尔维公司（*Société Solvay et Cie*）组建于1863年，尽管有这些技术上的改进，建在库耶的工厂还是过了大约4年才令人满意地运作起来。不过，此后的进展非常迅速，法国栋巴勒的工厂在1873年建立。1872年，带着对化学工业中未来事态发展的独特的远见卓识，蒙德获得了索尔维又一项专利[12]的英国授权。这项专利是索尔维当年在英国申请的，它使许多改进具体化了。为使他们在温宁顿（Winnington）的工厂能够满意地运行，蒙德和他的合作者布伦纳（John Brunner，1842—1919）历尽艰辛，几乎濒临破产，最终迎来了成功。几乎与此同时，许多国家签发了许可证，例如美国、俄国、德国、奥地利、匈牙利、西班牙、意大利和加拿大。从那以后，氨碱法能否成功不再是一个问题了。

吕布兰法和索尔维法之间的斗争态势，以及纯碱工业的整体增长情况，从下面给出的一些世

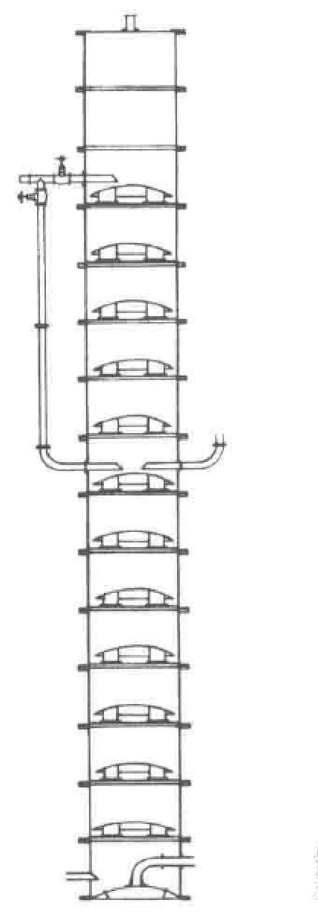


图130 索尔维的碳化塔，这个在1872年取得专利的高塔，是19世纪末期全世界氨碱法工厂的特征标志。氨盐水在由下到上的约2/3处进入塔内。

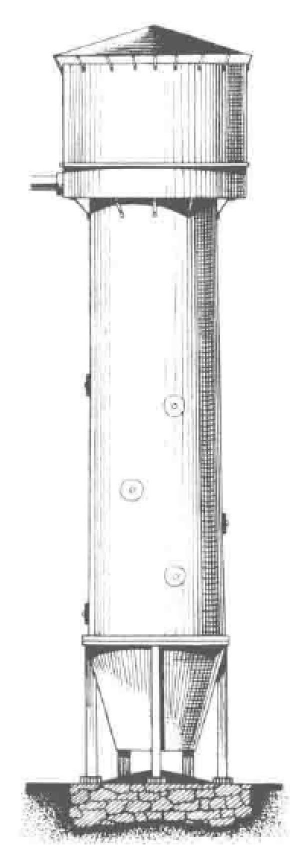


图131 为氨碱法制造二氧化碳的施赖布窑（Schreib kiln）。此窑的高为43英尺，内径为7英尺。每10英担石灰石约需要1英担焦炭。

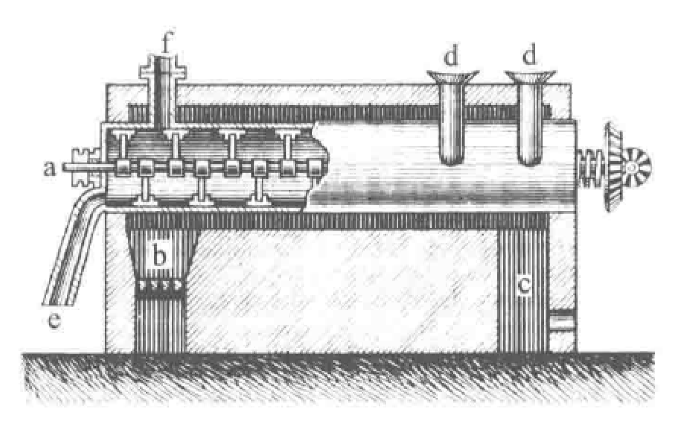


图132 索尔维的设备，用于煅烧碳酸氢钠形成碳酸钠。蒸汽、氨和二氧化碳通过f放出。当蒸汽和氨冷凝下来时，二氧化碳被送回碳化塔。煅烧熟料通过e排出。1879年。

界产量数字便可一目了然。

244

年份	全世界纯碱产量（吨）	吕布兰法（吨）	索尔维法（吨）
1863	300000	300000	—
1874	525000	495000	30000
1885	800000	435000	365000
1902	1800000	150000	1 650000

我们关于氨碱法论述的结束语，用索尔维的话来表达是很恰当的："像氨碱法这样经过如此频繁和长期的试验才实现工业应用的工艺方法，是前所未有的。"

11.3 烧碱

为了包括制造肥皂在内的多种目的，人们需要比通常的洗涤碱更为强有力的碱，烧碱（氢氧化钠）就及时地成为吕布兰法的一种重要的副产品。苛化作用是通过用石灰处理那些对黑灰进行过提取的溶液而实现的，这种溶液被引流到一些深深的铸铁容器内用蒸汽加热，石灰则用一个笼子悬挂在其中。当苛化作用完成时，溶液在一些大铁容器内浓缩，最后在较小的精炼罐内蒸发至干。然而，在我们这个时期行将结束时，一种制造苛性钠的电化学方法发明出来（边码250）。

11.4 硫酸

回想起来，吕布兰法的第一步是用相当量的硫酸处理食盐，所以吕布兰法纯碱工业的大扩展需要硫酸生产成比例地增长。硫酸还被人们在其他许多方面大量需要，特别是在用作肥料的过磷酸钙的制造方面（边码254）。

245

在目前所考察时期的大部分时间内，人们所需的硫酸大多用铅室法（第Ⅳ卷，第8章）制造。大约在19世纪后半叶，这个方法总体上很少变动，但是有了某些重大的改进。

在铅室法中，二氧化硫通常用燃烧硫黄或黄铁矿产生，然后通过空气氧化形成三氧化硫，再与水化合形成硫酸。从二氧化硫到三氧化硫的转化，要在有氮氧化物存在的情况下发生。当时，这种氮氧化物是用从智利进口的硝酸钠制得的，后者是智利的丰富天然矿产。一开始，人们把用过的氮氧化物逸出到空气中，但盖－吕萨克（J. L. Gay-Lussac，1778—1850）在1827年发明了吸收塔，氮氧化物在塔内溶解于浓硫酸中。然而，这项发明过了30多年才得到普遍使用，紧随在格洛弗（John Glover）发明脱硝塔之后。1859年，在靠近达勒姆的华盛顿化学工厂第一次使用了格洛弗塔，那些被吸收的氮氧化物回到铅室供再次使用。此后，格洛弗塔的使用与盖－吕萨克塔一起，扩大到兰开夏郡（1864年），并很快变成了普遍做法。应当说，这次重大的改革大大改善了后来被称作英国式硫酸制造法的经济性。

作为二氧化硫的一种原料，黄铁矿后来大量地取代了硫黄。1838年，两西西里王国的国王斐迪南二世（Ferdinand Ⅱ）给了马赛一家法国公司出口硫黄的专营权，结果造成硫黄价格上涨，每吨从5英镑升至14英镑。不久，人们发现黄铁矿是一种优良而便宜的二氧化硫原料替代品。对英国的制造商来说，可以从康沃尔郡和威克洛郡的丰富矿藏中得到黄铁矿。

还有一些有利于提高生产效率的发展。铅室的尺寸增加了，而且用连续性作业代替了间断性作业。1864年，马斯普拉特建造了一个140英尺 ×24英尺 ×20英尺的铅室。到19世纪末期，一个两倍于这一容量的铅室投入使用。对许多用途来说，从铅室中生产出来的硫酸太稀了，必须通过蒸发排出水分加以浓缩，硫酸的高腐蚀性使得这个过程具有一定难度。早在19世纪初，沃拉斯顿（William Hyde Wollaston，1766—1828）就有针对性地采用了铂容器，使硫酸浓缩成为可能。在19世纪的后半叶，铂容器得到了广泛的应用。起初，铂

246

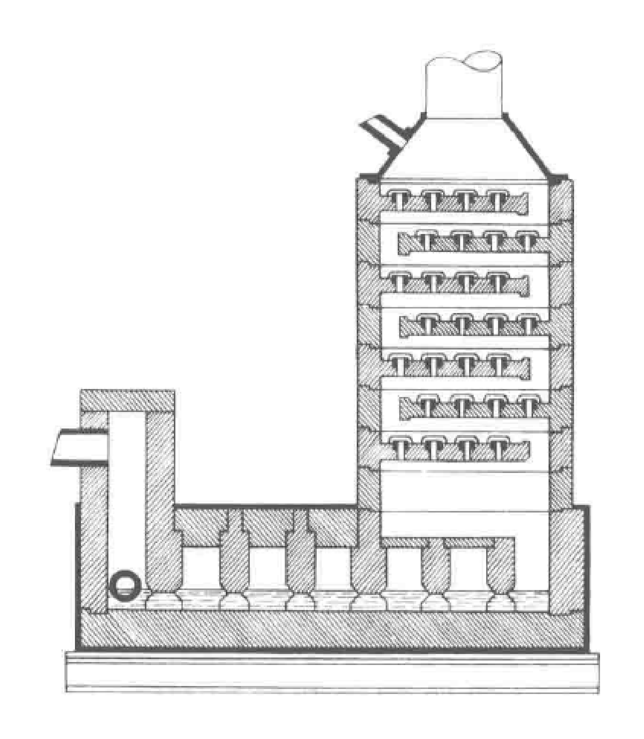


图 133 凯斯勒的硫酸浓缩器。

浓缩器通过一种用金焊剂在接缝处进行焊接的方法制造出来，在英国用这种方法制造了大约 160 个容器。然而，大约在 1860 年，用于硫酸的铂浓缩器开始用氢氧喷灯焊接接缝来制造。

人们还使用了一些其他类型的浓缩器，并且都是利用废炉气。例如，1891 年获得专利的凯斯勒（Kessler）浓缩器（图 133），让下降的酸流与上升的热气流相遇。这种浓缩器的上部是同流换热器，主要是 7 个用熔岩块制造的多孔的盘子，一个在另一个上面地安置；下部是饱和器，由包在铅内的熔岩块构成。如果对气流和稀酸的相对速率加以适当控制，则能收集到纯度为 98% 的酸。

然而，正像老牌的吕布兰制碱法存在厉害的竞争对手那样，用于制造硫酸的铅室法同样如此。不过，这场竞争并不十分激烈，因为本来提出的就是制造不同于铅室法所制的另一种硫酸形态的硫酸，而且竞争的结果也不是老方法的全军覆灭。另外，追溯这种新方法在具有工业意义前的初始情形也未尝不可。

新方法的基本原理很简单，具体地说就是在有一种催化剂（边码 237）存在的情况下，二氧化硫可以几乎即刻被空气氧化形成三氧化硫，而不像在铅室中那样速度相对缓慢，而且要通过氮氧化物做媒介。首先注意到这一点的是菲利普斯（Peregrine Phillips），这位布里斯托尔的制醋商在 1831 年获得了一种工艺方法的专利，用分得很细的铂粒作为催化剂[13]。三氧化硫与水结合形成硫酸的过程在塔内实现，这种塔装填有小卵石，水顺着小卵石淌下来。许多类

似的观察结果相继而来，显示出会出现某种困难，因为催化剂会逐渐“中毒”而失去效力。马格努斯（H. G. Magnus）和德贝赖纳（J. W. Döbereiner）证实了菲利普斯的实验。1852年，维勒（Wöhler）和马拉（Mahla）证明了一些比铂便宜的材料，特别是氧化铁，同样可用作催化剂。

然而，这种接触法没有得到应用，一部分原因是铅室法已经做了各种各样的改进，另一部分原因是催化剂“中毒”所引起的困难。正是有机化学工业的发展，为改变这种状况立下了主要功劳。迅速增长的合成染料工业（第12章）不仅需要大量的纯硫酸，而且需要大量的以所谓发烟硫酸形态存在的硫酸，后者含有相当多过量的三氧化硫。当时，发烟硫酸用硫酸铁经干馏而制成，实际上被波希米亚的一些工厂所垄断，硫酸铁来自当地一种特殊形态的页岩。因为用12—40吨页岩才能制造出1吨发烟硫酸，所以产品价格很高。因为有可能十分适于提供大量的发烟硫酸，接触法引起了人们很大的兴趣。

大约在1870年，德国化学家梅塞尔（Rudolf Messel，1847—1920）发现，让反应进行相当长时间的催化剂“中毒”是可以避免的，只要反应气体事先被仔细地净化。普法战争结束后，梅塞尔加入了英国的斯夸尔－查普曼公司（Squire，Chapman & Company），和斯夸尔（W. S. Squire）一起把接触法发展成一种令人满意的形式，并在西尔弗镇（Silvertown）实施，结果产量提高到每周1000吨。几乎就在斯夸尔申请他关于接触法的第一项专利[14]的那天，温克勒（Clemens Winkler）发表了一篇关于接触法的论文[15]，引起了人们的强烈兴趣。温克勒认为，接触法的成功运用在于让二氧化硫和氧在化学计量上按2∶1的体积比投入反应。这种看法显然是不正确的，但是按照隆格的描述，温克勒的论文“对化学工业界的作用就像一根巫师魔杖对被禁闭的幽灵的作用”，因为它似乎指明了不依赖波希米亚而制造出迫切

需要的发烟硫酸的途径。

虽然斯夸尔的专利堵住了接触法在英国的扩展，温克勒的想法却没有在德国的各个州得到专利。在正迅速成为世界染料工业中心的德国，用接触法制造发烟硫酸的事业蓬勃发展，一些重要的工厂由卢修斯（Meister Lucius）、布吕宁（Brüning）等人建立起来。他们位于莱茵河畔赫希斯特的工厂，用雅各布（Emil Jacob）设计的一种接触法工作。在路德维希港，巴登苯胺纯碱厂（*Badische Anilin-und-Soda Fabrik*）进行了一项关于接触法基本原理的仔细研究，这是关于合成靛蓝全面研究规划的一部分，导致了若干项改进，其中以温度控制方面的改进最为显著。但是，到了世纪更迭之后，人们才普遍认识到，反应气体的组成不应该像温克勒假设的那样，严格地用两份体积的二氧化硫兑一份体积的氧。

248

人们对接触法的兴趣，原本就是为了打破波希米亚在发烟硫酸制造上的垄断，并没有一开始就想象到这个方法能够经济地用于制造普通硫酸。实际上，在许多工厂里接触法用到的二氧化硫和氧的混合物，都是通过对用普通铅室法所得硫酸的高温分解而获得。

11.5 几种电化学方法

19 世纪后半叶工业化学的其他重大发展，均起因于美国化学家卡斯特纳（Hamilton Young Castner，1858—1899）提出的一种制钠方法。1824 年，丹麦化学家奥斯特（H. C. Oersted，1777—1851）发现钠［由戴维（Humphry Davy）于 1807 年首先离析出来］能把氯化铝还原成金属铝。三年后，德国化学家维勒（F. Wöhler，1800—1882）发现金属钾能起到同样的还原作用。在这些基础上，一种工业制铝的方法发展起来。然而，钾的价格很高，致使铝的价格令人望而却步——每磅约 55 英镑。

1854 年，本生（R. W. von Bunsen，1811—1899）和圣克莱尔·德

维尔（H. E. Sainte-Claire Deville，1818—1881）开发了一种类似的用钠生产铝的方法。钠的价格也很高，但生产成本还是要比钾便宜得多。尽管有拿破仑（Louis Napoleon）的财政支持，生产出来的铝仍然成本昂贵，这项尝试也失败了。然而，铝的显著特性以及它的主要矿物铝矾土的丰富蕴藏量，刺激着人们去寻找一种便宜的制钠方法。德维尔的方法是用木炭在高温下还原烧碱，不过由于木炭相对较轻，要把这两种物质均匀地混合起来，因此还原速度慢，效率也低。

用铁的重量带动木炭下沉的方法，卡斯特纳克服了这个困难。他把沥青和细铁屑熔融在一起，再放在坩埚里经高温分解成为焦炭。这种焦炭很容易与熔融的烧碱实现混合。在稍低于1000℃的温度下，还原在一种炉子（图版11A）里进行，钠被蒸馏出来进行收集。用卡斯特纳法生产1磅钠需约9便士，用德维尔法则需14先令。

249

这样看来，通向廉价生产铝的道路已经扫清，只是卡斯特纳未能让美国的工业家们产生兴趣。他来到英国，得到了在索利哈尔的韦伯斯特·克朗金属公司（Webster Crown Metal Company）的支持，这家公司当时正以每磅约3英镑的成本少量地生产铝。为了实施卡斯特纳的方法，产生了一家新公司——制铝有限公司（Aluminium Company Limited）。1888年，一个设计每年生产10万磅铝的工厂在奥尔德伯里建立了起来。在克服了开始时由于铁混入铝中引发的困难之后，成功看来已经没有问题了。但是，在1886年的美国和法国，霍尔（C. M. Hall，1863—1914）和埃鲁（P. L. T. Héroult，1863—1914）各自获得了一种通过对熔融在冰晶石里的氧化铝进行电解来生产铝的方法的专利（边码92）。卡斯特纳不仅根本无法与他们竞争，而且也不能在专利许可下实施这种新方法，因为在奥尔德伯里是无法得到必需的廉价电力。

卡斯特纳陷入了一个尴尬的境地，他剩下的唯一财产就是一种廉

价制造金属钠的方法，当时对金属钠却几乎没有需求。然而，正是这种状况促生了各种各样的重大发现，因为卡斯特纳将注意力转到了把钠转变为有用的化合物上。

首先，卡斯特纳开始制造过氧化钠。作为羊毛织物和当时十分流行的草帽的一种漂白剂，过氧化钠的市场需求量非常大。他的方法是在铝盘里让钠在一股空气流中燃烧，最初曾发生过灾难性的爆炸，但通过仔细调节温度后终于使反应过程得到了控制。然后，他又开始制造氰化钠，采用让氨在熔融的钠上通过的方法生成氨基钠，再将熔融状态下的氨基钠浇在赤热的木炭上生成氨基氰化钠，接下来就生成了氰化钠。1894 年，卡斯特纳获得了一种更好方法的专利，氰化钠能够通过氨、木炭和钠之间的反应一步生成。当时，一个庞大的氰化钠市场已经建立，这是澳大利亚、美洲、南非等地金矿开采业蓬勃发展的结果。在那些地方，挨过最初遭受的怀疑后，福里斯特－麦克阿瑟（Forrest-MacArthur）方法（于 1887 年获得专利）正普遍地用于从矿石中提取金与银（边码 95），开始使用的是氰化钾，但氰化钠在同等条件下更加有效。不过，金矿开采业花了一些时间才意识到这一点，卡斯特纳还被迫耍了一个花招，把他的氰化钠作为“130% 的氰化钾”出售。

250

然而，卡斯特纳已经在氰化钾制造业中拥有了一份产权，当时他是把钠与亚铁氰化钾熔合而制造出氰化钾的，这个方法由德意志金银提炼公司（*Deutsche Gold-und Silber-Scheide Anstalt*）使用。根据 1891 年达成的一份协议，这家提炼公司所需要的钠全部由制铝公司提供。然而已获得福里斯特－麦克阿瑟方法授权的格拉斯哥的卡斯尔黄金提炼公司（Cassel Gold Extraction Company），在 1893 年开始用贝耳俾（George Beilby，1850—1924）发明的一种方法制造氰化钾。这种方法让氨在碳酸钾和木炭的一种熔融混合物上经过，结果被证明不如卡斯特纳的方法令人满意。1900 年，卡斯尔黄金提炼公司开始使用卡斯特纳的方法，

并使用制铝公司制造的钠。

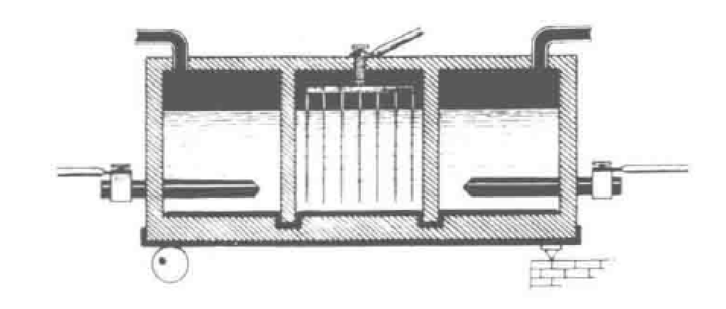


图 134 卡斯特纳-克尔纳电解槽，用于电解盐水制造烧碱。这三个间隔在机械构造上是分开的，但通过底部的一层水银在电气上保持着接触。这个槽可用左面的凸轮摇动。

所有这些发展产生了一个预料不到的后果，由于能够生产出的钠远不能达到一个大得令人满意的数量，制铝公司发现自己很难满足市场需求。于是，卡斯特纳研究了通过电解烧碱来制造这种金属的可能性。他获得了一定程度的成功，但也发现甚至在当时能得到的最好的烧碱中也含有杂质，特别是硅，严重限制了进一步的发展。凭着特有的毅力，他决定寻求一种新的工业方法来制造非常纯的烧碱。

卡斯特纳再一次探索电化学方法的可能性。由于电气工业的迅速增长（第 10 章），这种方法变得可行了。当时人们已经普遍知道，对通常的盐水进行电解，会在阳极上产生氯，在阴极上产生氢氧化钠（烧碱）和氢，但是还没有一个令人满意的方法能够把烧碱从剩余的食盐中分离出来。卡斯特纳用贮有水银的电解槽（图 134）克服了这个困难。这种电解槽最初由石板做成，被两块几乎插到底的隔板分为三个间隔，槽底放有水银作为阴极，所放水银的量要使水银面达到刚刚高过隔板底端的一点，这样就形成了三个分离的间隔。两头的间隔充以盐水，让碳阳极插入其中，中间的间隔盛以水。当电解进行时，钠离子在水银阴极上排出，溶解在水银内形成一种汞齐。用安装在一头的一个转动凸轮来使整个电解槽发生摇动，从而使这种汞齐往返流动。卡斯特纳最初试图用泵来使汞齐往返，结果证明并不可行。当这种钠汞齐与中间间隔的水接触时，钠起反应，形成烧碱。在两头的间隔中添加盐水，定时从中间的间隔里取出烧碱溶液，代之以新鲜的水，就可以使这个过程连续进行下去。1894 年，一组这样的电解槽在奥尔德伯里首先成功地运行（图版 11B），产品是几乎 100% 的纯烧

碱，一种当时制碱业闻所未闻的产品。它不但对卡斯特纳制造钠具有价值，而且对制造纸张、纺织物、油类和肥皂也具有很大的潜在益处。这种方法的一种可获利的副产品是氯，它可以转变为漂白粉，有着一个非常大的市场。

然而，水银电解槽的设想并不是全新的。比利时化学家诺尔夫（A. L. Nolf）和莱苏尔（E. A. Le Sueur）分别在1883年和1889年对此进行过研究，后者的电解槽具有一块多孔隔膜，获得了相当大的成功，特别是在柏林和新罕布什尔。差不多在卡斯特纳进行研究的同一时期，奥地利化学家克尔纳（Carl Kellner，1850—1905）对电化学方法发生了兴趣。1894年夏季，卡斯特纳准备为他的水银摇动电解槽申请国际性专利，却发现克尔纳在德国已先行一步，获得了一种明显类似的方法的专利，并在萨尔茨堡附近的戈灵建立了电化学工业联合企业（*Konsortium für electrochemische Industrie*）开始实施。至于在其他欧洲各国的权利，克尔纳都卖给了布鲁塞尔的索尔维公司。卡斯特纳宁愿与克尔纳达成一项交换专利和方法的协议，也不愿面对费时又费钱的诉讼。然而，这个方法实际上总是按卡斯特纳而非克尔纳的专利操作，后者的方法初看起来与卡斯特纳的十分相似，但实际上电解槽的两半部在电气上是不平衡的，如果想要试着使用，就会因水银氧化而发生累积障碍。尽管如此，这种方法一般仍被称为卡斯特纳 - 克尔纳法。

由于获得食盐水方面的困难和当地的高价电费，在奥尔德伯里不可能大规模地使用这个方法。最后，在柴郡盐碱地区的朗科恩找到了一个合适的地方。一个新的公司——卡斯特纳 - 克尔纳制碱公司（Castner-Kellner Alkali Company）组建起来，建造的一个工厂在1897年开始运转。它的生产能力是每天差不多20吨纯烧碱和40吨漂白剂，用3台200马力的蒸汽机提供动力。在美国，马西森制碱公司（Mathieson Alkali Company）在弗吉尼亚州的索尔特维尔建造了一个实

验性工厂，它在1896年的成功运转导致在尼亚加拉大瀑布立即建造了一个更大的工厂，因为那里有廉价的电力可用。

11.6 磷

1669年，布兰德（Brand）用沙和浓缩尿的一种混合物，通过高温分解而生成了磷。恰好一个世纪之后，加恩（J. G. Gahn）证明了磷元素是骨骼的主要成分，这样就为舍勒（C. W. Scheele，1742—1786）用骨灰制备磷铺平了道路。

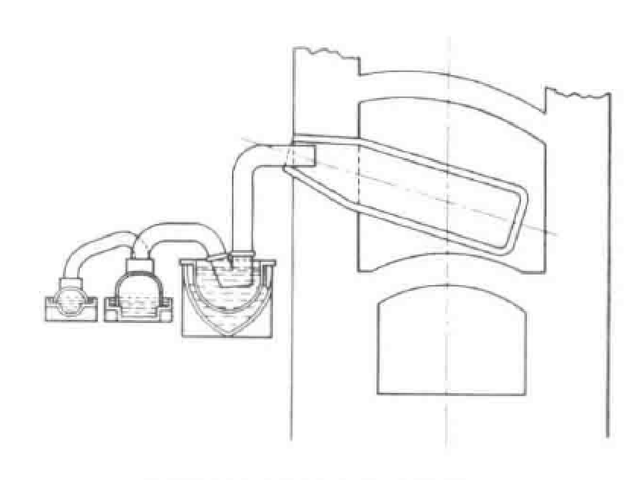


图135 烧煤的制磷蒸馏甑和冷凝器。

直至1890年前后，一般的制备方法都是在内衬铅的大木桶中，用热硫酸对骨骼或像磷灰石这样的磷酸盐矿石进行处理，产生出一种糖浆般的磷酸溶液。将这种溶液同某种形式的碳（磨碎了的煤或木炭）混合在一起，放在铁锅里烘干，所得到的黑色块捣成粉状，装到用耐火黏土制成的蒸馏甑内，这种蒸馏甑每个约4英尺长、8英寸宽。在甑内插入短铸铁导管，并用封泥封住甑口，将装好料的蒸馏甑放进一个烧煤的炉子里，使铁导管的另一端可以浸到一个长水槽中的水面之下（图135）。在时长约为16小时的加热过程中，磷被蒸馏出来，并冷凝在水槽的底部。从这一步起，磷应一直保持在水下，因为它暴露在空气中就会自燃。粗磷经过重铬酸钠和硫酸的处理完成精制，然后被焊封在罐头内以便运送。

19世纪上半叶，火柴的制造产生了对磷的大量需求。据说，含磷火柴是由法国一位学化学的学生索里亚（Charles Sauria）发明的，他在火柴的尖端涂上磷、氯酸钾、硫化锑、硫和胶质的一种混合物。然而，他没有为他的发明申请专利，也没有寻求制造商来制造火柴。首

先这样做的是一位名叫卡默勒(J. F. Kammerer)的德国人，那是1833年的事。

制造火柴用磷的行业最初是在法国和德国建立起来的。直至1844年，英国的产量每年不超过0.75吨。在1844年，奥尔布赖特(Arthur Albright)和斯特奇(Edmund Sturge)在伯明翰的塞利奥克(Selly Oak)开始了制造磷的事业。1849年，一个更大的工厂在奥尔德伯里建立起来，以适应对火柴巨大而广泛的需求。

253

磷的强毒性对火柴厂人员的健康造成了严重的影响。作为一名忠实的基督教贵格会教徒，奥尔布赖特对于继续提供磷是否妥当有着极大的疑虑。因此，他在得知维也纳的施勒特(Anton Schroetter)在1845年的发现时，表示了很大的兴趣。施勒特的发现显示，如果把普通的(白)磷放在一个密闭的铁罐内加热，它就会转变成一种"非结晶"(实际上是微晶)形态，这种磷不仅无毒而且也不会自燃。然而，在它的制造过程中要十分小心，因为这个方法容易发生猛烈的爆炸。

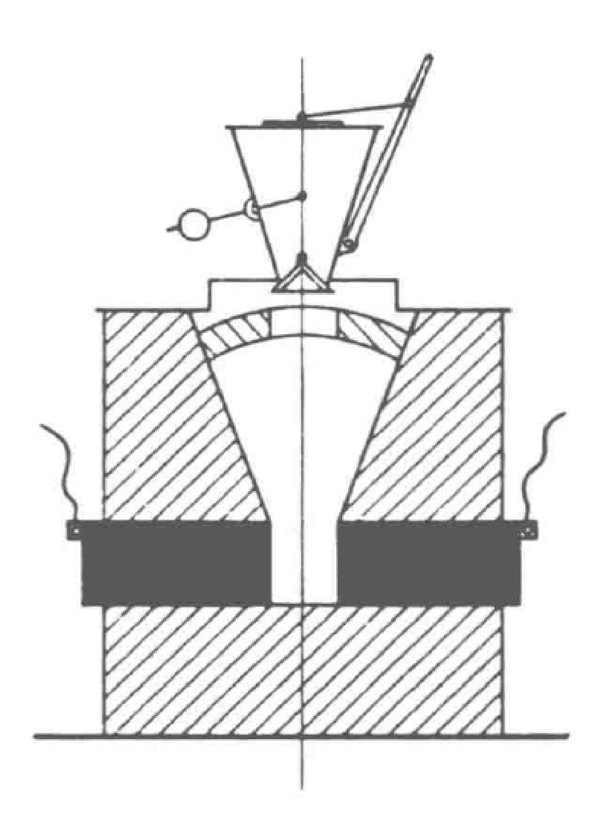


图136　在温斯菲尔德(Wednesfield)使用的最初的电制磷炉。

奥尔布赖特获得了施勒特的专利权并开始制造非晶态磷，但他发现要用它来制造"到处都可以打火"的火柴存在很大的困难。不过，这种非晶态磷在1851年的伦敦万国博览会上展出后，被伦德斯特伦(Lundström)兄弟带回了瑞典，他们用它解决了制造"安全"火柴的问题，并购买了大量奥尔布赖特的产品。安全火柴的原理是把非晶态磷涂在火柴盒上的打火处，但在火柴头上没有磷。

1855年，奥尔布赖特与斯特奇的合作终止了，这可能是因为斯特奇对非晶态磷的前途并不乐观。于是，奥尔布赖特与威尔逊(John Wilson)进行合作，建立了奥尔布赖特–威尔逊公司(Albright & Wilson)，后来成为著名的磷制造商。

19世纪后半叶，在磷制造方面实现了各种各样的改进。在法国，夸涅公司(*Coignet et Cie*)引进了煤气炉。但是，一个非常具有革命性的发展是1888年引进的电热法，这是雷德曼(J. B. Readman)和帕克(T. Parker)的专利。它的意义不仅在于加热方法的改变，更在于把一种基本上不经济的分批的生产过程转变成了一个连续的生产过程，这是一项使工作效率大幅度提高的创新。在电炉(图136)中装入磷酸盐矿石块、煤和沙的混合物，定时排出炉渣，磷蒸气连续地形成并被冷凝。

254

电热法令人满意地使磷的制造成为一种连续的过程，但它并不是这类尝试中的先驱。1887年，雷德曼曾经试图在爱丁堡附近的一台鼓风炉内制造磷，但是没有成功，因为事实表明不可能让炉子保持足够的热以保证排出炉渣。鼓风炉法的成功运用有赖于一种真正大规模的生产，这需要达到年产1.5万吨的量级，它直至很晚的时候才实现。

11.7 过磷酸钙和其他化肥

关于过磷酸钙制造的讨论接在关于磷的讨论的后面是适宜的，因为两个过程的第一阶段十分相似。过磷酸钙是所有农业肥料中最有用的肥料之一，虽然它的潜在价值看来在很早以前就被人们认识到了，却直到19世纪后半叶才得到普遍使用。早在1808年，在贝尔法斯特附近的地方，就有人做过一些把经硫酸处理的骨头施入农田的试验。据记载，这种办法使庄稼长得很茂盛。1835年，布吕恩的一位学校校长埃舍尔(Escher)建议通过用硫酸处理让骨头中的磷酸盐变得可溶，

李比希(J. von Liebig)在1840年也提出了同样的建议。然而，无论是埃舍尔还是李比希，都没有试图把这个设想付诸实际应用，虽然它在后来变得广为人知。第一个商业化地制造过磷酸钙的人是都柏林的医生默里(James Murray，1788—1871)[16]，他大约在1817年进行了最早的试验。1835年，他提出过磷酸钙的制造不仅可以通过用硫酸处理骨头，而且可以通过用硫酸处理磷酸盐矿石。6年后，他积极从事生产包含过磷酸钙、鸟粪石和智利硝的混合肥料。1842年，默里制造过磷酸钙的方法获得了专利。这种方法是把磷酸钙矿石与相同重量的硫酸放在一个陶罐内混合，并把混合物反复搅拌上2—3天。在这段时间的末尾，再拌入某些具有吸收性的物质，如麦麸和锯屑，这样就生产出一种干的、易于操作的粉状肥料，每桶价售可达280英镑。

虽然默里最先涉足这个领域，但他并没有取得商业上的成功。劳斯(John Bennet Lawes，1814—1900)是第一个成功地大规模制造过磷酸钙的人，他从1834年开始在罗萨姆斯特德(Rothamsted)自己的地产上进行了广泛的农业试验。1843年，他在伦敦附近建立了一个大型的过磷酸钙工厂，这家工厂到19世纪70年代的年产量达到4万吨左右。

255

磷以过磷酸钙的形式施在土地上是极为方便的，但它只不过是植物的几种主要养分之一。氮的化合物的重要性并不亚于磷，现在可以用在大气中固氮的方法大量地合成。然而在19世纪末期以前，作为作物养料的氮的主要辅助来源是生硝(边码320)，也就是天然的硝酸钠。许多地方都有生硝的小矿床，具有工业价值的矿床却仅在智利西海岸的塔拉帕卡省才有。在那里，矿床的厚度有1—5英尺，上面覆盖着几英尺的岩石。开采出的生硝被研碎，放在敞露的水池里用热水进行提取，直至形成一种饱和溶液，冷却后就可以结晶出纯度约95%的硝酸钠。1900年，硝酸钠的世界消费量为135万吨，其中欧洲国家——主要是德国——消费了115.2万吨，美国则消费了17

万吨。大部分硝酸钠被用作肥料，余下的部分大多作为亚硝烟的一种原料，用以制造硫酸。硝酸钾是火药（边码 285）的一种主要成分，由硝酸钠和氯化钾经反复分解而制成。如果让这样两种盐的热饱和溶液冷却，将离析出氯化钠，大量完全可溶的硝酸钾则留在溶液中。在开发出大气固氮的方法之前，硝酸是通过在铸铁蒸馏甑内蒸馏硝酸钠或硝酸钾和硫酸的混合物而制取的，其中的冷凝器和冷凝水接受器用玻璃或某种耐酸合金做成。

19 世纪后半叶，植物生长所必需的第三种主要元素钾的原料也有了重大的变化。直到约 1870 年，无论是作为化肥还是用于工业，钾盐的传统原料都是植物灰烬。一个世纪之前，世界上植物灰烬的主要源头是加拿大。1871 年，加拿大有 519 个钾碱厂，每年消耗的木材远远超过 400 万吨。钾碱的生产过程很简单，将灰烬用水提取，得到的溶液经稻草过滤后放在铁锅中蒸发。如果需要最高品位的珍珠灰，则将粗钾碱放在钾碱厂的反射炉内煅烧。不管在哪里，只要有丰富的树木、果实或者其他易燃的植物材料，都以可使用类似的方法。

大约于 1870 年，在马格德堡附近的施塔斯富特，人们开始开采丰富的钾盐矿藏，这对木灰工业立即产生了影响。到 1891 年，加拿大的钾碱厂数目已经降至 128 个，到世纪更迭时几乎完全消失。不过，这种工业在第一次世界大战期间又有了暂时的恢复。

相关文献

[1] British Patent No. 7267. 1836.
[2] British Patent No. 1403. 1868.
[3] British Patent No. 2476. 1870.
[4] British Patent No. 2277. 1862.
[5] British Patent No. 518. 1857.
[6] Chance, K. M. *Chem. & Ind.*, 22, 298, 1944.
[7] British Patent No. 3608. 1882.
[8] Allen, J. F. 'Some Founders of the Chemical Industry', pp. 213–20. Sherratt & Hughes, London. 1906.
[9] British Patent No. 887. 1853.
[10] British Patent No. 7713. 1838.
[11] Heeren, F. *Dinglers J.*, 149, 47, 1858.
[12] British Patent No. 1525. 1872.
[13] British Patent No. 6096. 1831.
[14] British Patent No. 3278. 1875.
[15] Winkler, C. *Dinglers J.*, 218, 128, 1875.
[16] Alford, W. A. L. *Chem.& Ind.*, 31, 852, 1953.

参考书目

Allen, J. F. 'Some Founders of the Chemical Industry.' Sherratt & Hughes, London. 1906.

Barker, T. C. and Harris, J. R. 'A Merseyside Town in the Industrial Revolution: St Helens 1750–1900.' University Press, Liverpool. 1954.

'Fifty Years of Progress ; the Story of the Castner-Kellner Alkali Company.' Imperial Chemical Industries Limited, London. 1947.

Haber, L. F. 'The Chemical Industry during the Nineteenth Century.' Oxford University Press, London. 1958.

Hardie, D. W. F. 'A History of the Chemical Industry in Widnes.' Imperial Chemical Industries Limited, London. 1950.

Haynes, W. 'American Chemical Industry', Vol. 1 (1609–1911). Van Nostrand, New York. 1954.

Kingzett, C. T. 'The History, Products, and Processes of the Alkali Trade.' London. 1877.

Lunge, G. 'A Theoretical and Practical Treatise on the Manufacture of Sulphuric Acid and Alkali' (3rd ed.). Gurney & Jackson, London. 1903.

Miall, S. 'History of the British Chemical Industry.' Benn, London. 1931.

Morgan, Sir Gilbert T. and Pratt, D. D. 'British Chemical Industry ; its Rise and Development.' Arnold, London. 1938.

'The Struggle for Supremacy ; Being a Series of Chapters in the History of the Leblanc Alkali Industry in Great Britain.' Walmsley, Liverpool. 1907.

Threlfall, R. E. 'The Story of 100 Years of Phosphorus Making, 1851–1951.' Albright & Wilson, Oldbury. 1951.

Warrington, C. J. S. and Nicholls, R. V. V. (Eds). 'A History of Chemistry in Canada.' Pitman, Toronto. 1949.

Williams, T. I. 'The Chemical Industry Past and Present.' Penguin Books, Harmondsworth. 1953.

第12章 19世纪的染料

E. J. 霍姆亚德（E. J. HOLMYARD）

12.1 引言

19世纪上半叶，虽然理论化学和应用化学都有了迅速发展，但在这段时间内，人类调色板上可用的染料并没有显著增加。除了苦味酸（后来用作丝和羊毛的黄色染料）是由沃尔夫（Woulfe）在1771年、豪斯曼（Hausmann）与克拉普罗特（Klaproth）在1788年分别独立发现以外，其余染料全都来源于植物和昆虫。中世纪以来，染料的数目并没有增加，但并不意味着染色技术的停滞。相反，工业革命时期纺织制造业的巨大发展，曾经导致人们加紧努力地改进各种染色方法。做出这些努力的人，并不局限于专业的染色研究者，或者局限于像成就斐然的法国化学家、巴黎哥白林（Gobelins）挂毯厂厂长贝托莱（C. L. Berthollet，1748—1822）那样的杰出人物，还包括许多对染色感兴趣的科学家。氯和其他漂白剂的发现（第Ⅳ卷，边码247），以及由食盐和石灰石制造纯碱（碳酸钠）的吕布兰方法（第Ⅳ卷，边码239）的发明，极大地帮助了染色研究者的工作。辅助化学品的标准化和一种对过程细节更为认真的关注，以及在大多建立在化学基础上的对染色逐渐理解，导致了染色工艺更为稳定的可靠性。与此同时，各种心灵手巧的发明创造（尽管是经验性的）也扩大了可以获得的染色效果的范围。

然而，所有这些努力都无法改变尴尬的事实，当时所用的全部染料只不过刚刚超过一打，包括胭脂虫红和虫胭脂、茜草、靛蓝、苏木和巴西木、老幼黄颜木、木犀草、儿茶，以及黄色染料藏红花、红花和胭脂树红。这些染料已经使用了几个世纪，在本书前文中也已提及（第Ⅲ卷，边码 692—695）。鉴于它们的应用在 19 世纪有了巨大的增长，应该对它们做某些进一步的介绍。面对“天然”染料在 19 世纪约 3/4 的时间内仍然表现出众的状况，声称 19 世纪在整体上是人造染料的世纪显然言过其实。

258

12.2 胭脂虫红和虫胭脂

胭脂虫红（cochineal）和虫胭脂（kermes）（第Ⅱ卷，边码 366）非常普遍地被人们用作鲜红色染料，特别是用一种锡盐媒染（边码 280）出猩红色的时候。它们都是从寄生在某种植物上的雌性介壳虫干体中获得的，虫胭脂是旧大陆的产品，胭脂虫红则产自新大陆。制取胭脂虫红的胭脂虫（*Dactylopius coccus*）来自墨西哥，生长在仙人果或称印第安无花果（*Opuntia fico-indica*）和其他种类的仙人掌属植物上。在墨西哥建有种植这种仙人掌以繁殖胭脂虫的农场，每年可收获 2—3 代。雌性胭脂虫没有翼翅，被收集后加热并烤干。大约需要 20 万只昆虫，才能产出 1000 克胭脂虫红。

18 世纪末期，对胭脂虫红的需求迅速增长，人们尝试在印度繁殖胭脂虫，结果失败了。但是，有一种与胭脂虫有些类似的昆虫——紫胶虫（*Tachardia lacca*），长期以来在印度用作红色颜料的来源，这种红色颜料被称为紫胶（第Ⅱ卷，边码 362）。随着这种胭脂虫引入西班牙（1820 年），特别是引入加那利群岛（1826 年），较大的成功终于来临，德拉克鲁兹（Santiago de la Cruz）在加那利群岛组建的农场收入可观。1828 年，荷兰政府的一名特工人员偷偷学习在加的斯实施的培育胭脂虫的方法，得到了约 1000 株带有这

种昆虫的仙人掌，并收买了一位专家，一起把这些掠夺品用荷兰炮舰运送到爪哇。不过，这种海盗式的冒险没有取得显著成功。接下来，法国人试图在阿尔及利亚养殖这种胭脂虫，结果也没成功。不过，胭脂虫养殖却在危地马拉、尼加拉瓜和其他中美洲国家获得了良好的结果，危地马拉的胭脂虫产量最终超过了墨西哥。19 世纪后期，加那利群岛变成胭脂虫红的主要产地，1869 年的出口量不少于 271.7 万千克。

胭脂虫红的价格变化颇大，平均下来每磅约 9—10 先令。这样高的价格引来了大量假劣产品，掺杂了植物渣滓、劣质虫胭脂、沙、铅白和其他材料。据说，最严重的掺假程度，竟然到了制造出只有玻璃粉、树脂和黏土的“胭脂虫红颗粒”（cochineal grains）的地步。

19 世纪中叶，由于发明了合成红色染料，胭脂虫红的价格开始大幅度下降。虽然有一段时间生产尚可维持甚至价格有所回升，但到 1880 年的时候，人造染料的竞争使培育胭脂虫变得毫无经济价值。如今，胭脂虫红只进行少量生产，主要是给食品染色。

259

虫胭脂（第Ⅱ卷，边码 366）同胭脂虫红一样，由雌性介壳虫的干体构成。介壳虫约有一个小豌豆般大小，寄生在胭脂虫栎（*Quercus coccifera*）上，这种树大量生长在地中海国家，特别是叙利亚、黎巴嫩和巴勒斯坦。当它被烤干和研碎时，就产生出一种红色染料，可溶于水和酒精。虫胭脂是最古老的染料之一，在《旧约》中已有记载，它的希伯来名字为 *tola'at shani*，即“蠕虫猩红”。

每年，到了昆虫本身已经死亡但体内还有能够生长发育的虫卵的季节时，人们就把这些虫胭脂“浆果”手工摘取收集，用醋等弱酸，加以处理，杀死虫卵，然后包装在小桶内。

用虫胭脂在纺织物上染成的鲜红色，在很长一段时期内十分流行。中世纪的虫胭脂贸易中心在威尼斯，用威尼斯猩红（*écarlate de Venise*）

染成的布，在欧洲到处都受到高度赞赏。这种染料是用虫胭脂和酒石乳剂以明矾作为媒染剂而制成的。达·伽马（Vasco da Gama）曾在1498年将它奉献给卡利卡特（Calicut）的国王。此后，虫胭脂被用来染制土耳其毡帽，并且一度在伊斯兰世界的大部分地区都要按照礼节必须戴上。这种规定本身就为一个行业奠定了基础，在1850年前后达到了它的顶峰。就在那一年，奥地利凭借制造和出口土耳其毡帽获得了超过1200万弗罗林的收益。不过，虫胭脂的好日子还是结束了，首先是来自胭脂虫红的竞争，随后便是合成染料，很快导致了这种老牌猩红色染料古老贸易的实质性灭亡。

需要说明的是，胭脂虫红中的红色物质（胭脂虫酸）和虫胭脂中的红色物质（虫胭脂酸）都是蒽醌的衍生物（边码276）。

260

12.3 茜草

茜草是另一种历史可以回溯到出现文字之前的染料，是从植物茜草（*Rubia tinctorum* L）（图137）中制取的。植物茜草至少种植了2000年，虽然不是英国的土生植物，但仍然有可能偶然看到。这种植物在大约公元1000年的《撒克逊药典》（*Saxon Leechdom*）中有所提及。在大约写于1374年的一首短诗中，乔叟（Chaucer）这样说到过去的时代：



图137 植物茜草（*Rubia tinctorum* L）。

从前的人们过着

一种无忧无虑的，动人的和甜蜜的生活……

那时候，有许多东西是没有的，而且

没有茜草，没有木犀草，也没有菘蓝……

于是在那个地方，

……人的身上仍然是其本来的色彩

在中世纪，茜草被大量地用于羊毛染色。英国的茜草贸易中心在诺里奇，这个城市的“茜草市场剧院”（Maddermarket Theatre）可以让我们想起当年的情景。英国的某些地名，例如坎伯兰的马特戴尔［Matterdale，即 madder valley（茜草谷）］和斯塔福德郡的梅菲尔德［Mayfield，即 madder field（茜草地）］，都表明了这种植物在英国的许多地方都有种植。茜草同样普遍地生长在欧洲大陆。查理大帝（Charlemagne）曾经发布命令，乡村庄园的妇女工场必须十分齐全地备有羊毛、亚麻布、菘蓝、茜草、羊毛梳、起绒机和肥皂，以及用于纺织品编织和染色的其他必需品。

随着时间的推移，茜草的重要性与日俱增。直到法国革命前夕，大部分的茜草收成都来自荷兰。法国革命时期，法国政府支持在阿尔萨斯和普罗旺斯种植茜草，打破了荷兰人的准垄断，后来的法国政府也继续予以资助。国王路易·菲利普（Louis Philippe，1830—1848 年在位）让他的步兵团穿上著名的茜色裤（pantalon garance）或称茜草红裤（madder-red trousers），以产生一种色彩上的刺激。他可能想起英格兰君主亨利二世（Henry Ⅱ，1154—1189 年在位）为了同样的目的，命令属下在猎场中必须穿着红色外套。

植物茜草是一种终年常青的灌木，具有矛尖状叶片、黄色的花朵和淡红棕色的浆果状果实。在它细长根部的皮层里，以及含有糖苷茜根酸，水解后就产生出严格意义上的染料茜素以及葡萄糖和木糖。人们通常是取1—2年生植物的根部，洗净烤干后研成粉末，装在木桶或亚麻布袋里送到市场出售。

261

当格雷贝（Graebe）和利伯曼（Liebermann）在1868年至1869年期间发现茜素的化学成分时（边码276），茜草工业的末日便来临了。两年后，合成茜素进入工业应用，天然产品的市场迅速消失。用茜素染色，将在边码278处继续叙述。

12.4 靛蓝

许多植物——特别是木蓝（*Indigofera tinctoria* L）（图138）和菘蓝（*Isatis tinctoria* L），都含有一种被称为β-吲哚葡糖苷的糖苷。当把它用酸或者通过发酵方法进行水解时，就会产生出葡萄糖和吲哚酚，后者很容易被大气中的氧所氧化，成为蓝色染料靛蓝（第Ⅱ卷，边码364—365）。这样制备出来的靛蓝常常混有一定数量的杂质，例如靛玉红、靛棕和一种胶状物质，人工合成的靛蓝（边码279）则没有这些污染。

与从木蓝中获得的靛蓝相比，菘蓝形成的靛蓝数量要小得多。但是，在进口印度靛蓝的总量还没有达到让菘蓝种植无利可图的时候，英国和其他欧洲国家的菘蓝种植者依然顽强抵抗。在1577年的英国，进口的靛蓝被指责为一种“新发明的、有害的、极其歹毒的、致命的、骗人的、残害心灵的、腐蚀性的染料”。法国国王亨利四世（Henri IV）也做出了类似的谴责，命令处死那些使用了这种靛蓝的人。在纽

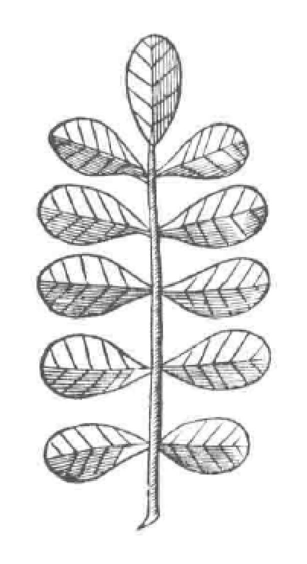


图138 木蓝（Indigofera tinctoria L）。

伦堡，染色业者则被要求宣誓保证不用这种靛蓝。奇怪的是，人们并不知道印度靛蓝和取自菘蓝的蓝色物质完全是同一种物质，甚至不知道前者来自植物。1705年，英格兰竟然颁发了国王特许状，同意开采靛蓝。

虽然遭到抵制，印度靛蓝还是继续赢得人心，到17世纪中叶，它的成功种植已经不成问题。大约100年后，一位颇有胆量的美国妇女平克尼（Eliza Pinckney）开始在卡罗来纳种植木蓝，英国政府甚至同意对美国靛蓝给予每磅6美元的津贴。但是，这种情况没能持续很久，因为棉花和大米的收成能获得更大的利益。

262

从木蓝中提取靛蓝的过程是，先把新割下来的植物放在温水中发酵，得到一种呈碱性的淡黄色溶液。通过剧烈搅拌使溶液充满气体，靛蓝便作为一种蓝色沉淀物沉积下来，留在桶底呈现淤泥状。收集这种淤泥状物质用水煮沸，以免进一步发酵，再进行过滤和烘烤，烤干的产品被做成饼状投放市场（第Ⅲ卷，图422）。像胭脂虫红那样，靛蓝也经常有许多掺了假的货色，染色业者不得不依靠经验和敏锐的观察力来判断市场上的靛蓝的质量。



图139 菘蓝（*Isatis tinctoria* L）。

靛蓝不溶于水，必须把它转变成一种可溶的衍生物才能染色。这种衍生物叫作靛蓝的“隐色”（leuco）体，因为它是没有颜色的（希腊语 *leukos*，即白色）。用化学术语说，这是靛蓝的一种还

原产物。在过去，还原是把靛蓝添加到盛有发酵菘蓝的缸中进行的，缸内还含有石灰、麦麸和少量茜草。把要染色的布浸入缸内，然后让布敞露在空气中，吸收在纤维中的靛白就会被氧化变回靛蓝，靛蓝依然沉积在纤维中，布就这样被染成了蓝色。现在，当用合成靛蓝（边码 278）染色时，还原成隐色体的方法是使用碱性连二亚硫酸钠或者像雕白粉 C（甲醛化次硫酸氢钠），操作起来既十分简单又令人满意。由于可以非常容易地进行染色，靛白已经成为一种出口贸易商品。

木蓝是一种豆科植物，菘蓝（图 139）则属于十字花科，形态上是草本植物，有着无柄的茎生叶，开着呈一种伞房状圆锥花序的黄花。

263

它现在已经不再种植，但仍然可以零星见到，例如在塞文谷（Severn valley）的蒂克斯伯里附近，以及菘蓝栽培曾经是重要产业的萨默塞特郡。事实上，那里的格拉斯顿伯里（Glastonbury）的名字就是来自古凯尔特语 *glasto*-，即菘蓝。

手工摘下菘蓝叶子，趁新鲜时在菘蓝作坊（图 140）中用木辊轮碾压，再把压成的浆状物做成球形，干燥后研磨成粉，接下来将粉末与水混合，放置数周让它发酵。伴随着这个过程的进行，会发出一种令人极其讨厌的恶臭，以致伊丽莎白一世（Elizabeth I）禁止在她的任何乡间居所的五英里半径范围内有菘蓝作坊（图 140）。从叶子中挤出的溶液同样令人生厌，有许多控告记录说这种溶液流入的溪流被弄脏了。

尽管有来自印度的竞争，后来又有合成靛蓝（特别是引进了连二亚硫酸盐还原法后）的竞争，菘蓝仍然在继续使用，一直到进入 20 世纪后好长一段时间。20 世纪 30 年代，英国的最后两个菘蓝作坊才关闭。

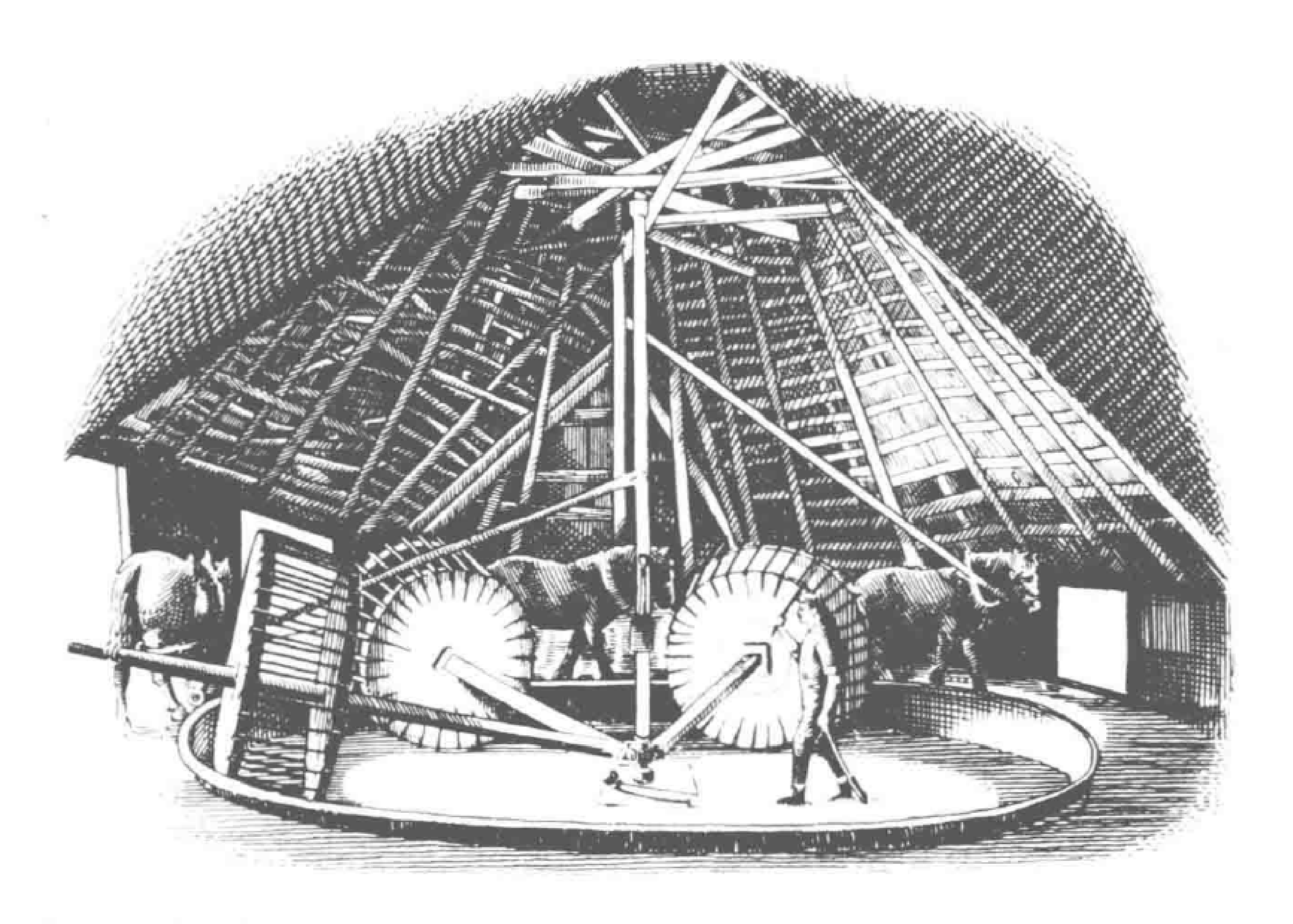


图 140 威斯贝奇的菘蓝作坊。

12.5 苏木和巴西木

1517 年，科尔多瓦（Hernández de Córdoba）在墨西哥前哥伦布时代的城镇金佩奇（Kimpech）所在的地方登陆。若干年后（1540 年），这些西班牙人在那里建立了一个新的城镇，今天被称为坎佩切。在邻近的森林里，他们发现了一种节节疤疤、布有罗纹的树，把它浸泡在水中便产生一种能把织物染成深蓝色、紫色或黑色的溶液。这种树木被称为坎佩切木，后来又有了更为通用的名字——苏木。苏木树属于豆科，植物学名是 *Haematoxylon campeachianum*。土生土长于中美洲，在古巴、牙买加和加勒比海地区的其他地方有着悠久的种植历史。大约 16 世纪中叶，西班牙把这种树木作为一种染料的来源而引进到国内。

264

苏木中的染色素叫氧化苏木精，是从心材中获得的。刚砍下时，

这种树木没有颜色，暴露在空气中才转变成黑色，这是因为它含有的无色物质苏木精，迅速被氧化成黑紫色的氧化苏木精，苏木精事实上是氧化苏木精的隐色体。

提取染料时，将木材劈成小片，用蒸汽在压力下加热，然后堆放一段时间。接下来，把它们用热水处理，通过蒸发溶液便得到了氧化苏木精。

用苏木染色时，通过使用不同的媒染剂可获得不同的色泽，当然最有价值的是黑色，它是用一种铁和丹宁的媒染剂获得的。虽然苏木在很大程度上已经被合成黑色染料所代替，但它在染出黑色丝绸方面仍然无可匹敌，因此它通常用于这一用途。作为一种染色剂，它在生物学研究中（边码 282）——尤其在组织学研究中——少量应用。此外，它还被用作一种指示剂（边码 283）。

巴西木来自另一种豆科树种巴西木树（*Caesalpinia braziliensis*）。它含有一种无色化合物，即在结构上与苏木精十分相似的巴西木精。暴露在空气中时，巴西木精被氧化成相应的染色素氧化巴西木精。巴西木树在旧大陆和新大陆都有生长，因此为欧洲人所熟识。1500 年，卡布拉尔（Pedro Alvarez Cabral）带领一支葡萄牙探险队到达南美洲东海岸，队员们看到这里竟然生长着这么多的巴西木树，便给这个地方取了一个诨名“巴西木之地”（tierra de brasil），虽然卡布拉尔本来比较喜欢“基督受难的十字架之地”（Tierra de Vera Cruz）这个名字，但最终那个诨名占了上风。于是，巴西（Brazil）这个国名就是指巴西木的土地（land of brasil-wood）（第Ⅱ卷，边码 367），但是“brasil”这个词的来源就不知道了。

氧化巴西木精在某种程度上还在使用，但主要是与其他染料混合起来以产生各种各样的色泽。

12.6 黄颜木

有两种用于染出黄色的树木，都叫作黄颜木（fustic）。这个词来自阿拉伯语*fustuq*，追根溯源应该是来自希腊语*pistake*，即阿月浑子树（pistachio）。其中，使用时间明显较长的一种反而被称为“幼”黄颜木，它在植物学上与另一种“老”黄颜木毫无关系。幼黄颜木又被称为赞特岛黄颜木（Zante fustic），是漆树科的威尼斯漆树（*Rhus cotinus*）的木材（这个科还包括腰果树）。将这种木材的碎片浸入水中，便得到含有染色素非瑟酮的溶液，与各种媒染剂一起使用，可以在棉布和羊毛上染上从黄色、橙色直到深绿色的一系列色泽。如果与苏木配合使用，则能生成黑色。

老黄颜木比幼黄颜木更重要，时至今日仍在继续使用。它是桑科的染料桑树（*Chlorophora tinctoria*）的木材，这种树是中美洲和西印度群岛的土生植物。它的染色素桑黄素的提取法与提取非瑟酮的方法一样，得到的溶液用于给棉布和羊毛染色，主要与苏木混合使用。在化学上，非瑟酮和桑黄素都是黄酮的衍生物。黄酮是一种有趣的化合物，在自然界中以一种白色被覆物的形式，出现在某些种类的樱草属植物的叶子与花柄上。

12.7 木犀草和儿茶

木犀草或称淡黄木犀草（图141），植物学名为*Reseda luteola* L，是木犀草科（Resedaceae）的种。自史前时代以来，木犀草一直被人们用作黄色染料的一种来源。按克拉克（J. G. D. Clark）的说法，它被新石器时代瑞士的湖上居民所采集，估计就是用于这个目的。

木犀草土生土长在欧洲、西亚、北非的许多地方以及加那利群岛，并被引入美洲。它很早就有种植，因为野生的数量远远不能满足像古罗马这种国家的需要，在那里黄颜色的织物受到人们的珍视。后来，英格兰用它与菘蓝配合，染出了闻名遐迩的林肯绿。


图 141 木犀草 (*Reseda luteola* L.)。

木犀草是一种两年生的草本植物，高达3—4英尺。人们割下茎和叶后，在空气中干燥，再扎成捆出售。通过在水中泡浸，即可提取草中的黄色染色素。与非瑟酮和桑黄素一样，这也是黄酮的一种衍生物，叫作藤黄菌素。

儿茶是从印度、马来亚和缅甸的多种树中获得的棕色染料，这些树包括含羞草属和金合欢属中的一些种类。染色素是用水对树叶进行提取后通过蒸发获得的，这也是一种黄酮衍生物，即儿茶酸。虽然儿茶的应用不广，但它与某些金属盐配合使用，可以染渔网、船帆、帆布帐篷等，因为它不仅能生成一种吸引人的棕色色泽，而且可以延长织物的寿命。

12.8 藏红花、红花和胭脂树红

在19世纪后半叶出现合成染料之前，黄色染色素种类非常有限，染色价值与茜草和靛蓝也不在同一水平上。主要的种类是藏红花、红花和胭脂树红，这些植物在这个时期一直在使用，而且至今仍有一些有限的应用。

藏红花染料是从藏红花（*Crocus sativa*）的柱头中获得的。藏红花属于鸢尾科，生长在希腊、波斯和小亚细亚，从前在英格兰埃塞克斯郡的萨弗伦沃尔登（Saffron Walden）一带种植，后来在西班牙也有种

植，引进它的可能是摩尔人的。藏红花（saffron）这个词出自这种植物的阿拉伯名称 *za'farān*。据哈克卢特（Hakluyt，1552？—1616）的说法，在 14 世纪的时候，一位从的黎波里回来的朝圣者把藏红花带到英格兰，想为他的国家做一件好事。“他把自己的手杖挖成中空，藏进两个藏红花的球茎。这样做是危险的，因为一旦被抓获就会被处死。”不管实际情形是否如此，直到将近 18 世纪末期，藏红花在英格兰一直是一种常规作物，种植者被称为“克罗克”（croker）。今天在英国乡村的某些地方，它仍然是一个常见的源于父系的姓。

制作染料时，把藏红花柱头放在筛子里，在木炭炉上烤干。一盎司染料大约需要 4000 个柱头才能生产出来，里面含有一种糖苷形态的染色素。目前，藏红花主要用于烹饪、医药和香料，但它作为一种染料仍然没有绝迹。

红花属于庞大菊科的菜蓟族，植物学名为 *Carthamus tinctorius* L，是中东和远东地区的一种土生植物。在罗马时代之前很久，红花就在地中海地区种植，后来又在西欧种植，在英国可能偶尔见到。在发现新大陆后不久，西班牙人就把它引进美洲。在形态上，它是一种一年生或二年生的草本植物，高达 18 英寸至 2 英尺，开有鲜艳的淡橙红色小花。摘取熟透的花朵，放在阳光下晒干，花朵中含有一种藏红花黄和一种红色染色素。通过在水中浸泡的方法，可以轻易地排除大约 2/3 的藏红花黄。不溶的淡红色残余物能够在酸性或碱性的溶剂中使用，染出从黄、橙、粉红到红色的各种色泽，不过这些颜色很难持久。尽管有这个缺点，但它如今在印度仍被人们为了染色而种植。

胭脂树红可从被称为胭脂树（*Bixa orellana*）的灌木或者小树中获得。一般认为胭脂树原生于印度或巴西，如今在整个热带地区已经较为常见。果肉里的染色素被称为胭脂树果肉色素或者胭脂树素。将丰腴的果肉在水中浸渍、过滤和蒸发得到溶液，直至成为黏稠的糨糊状。

胭脂树红以这种形态作为一种染色剂，用于像牛油和奶酪这样的食品。不过在适用的合成染料发明出来之前，它也曾作为一种直接的或独立的染料（边码280）用于棉布。非常有趣的是，胭脂树素（它的化学本质已被搞清楚）在结构上与藏红花的黄色染色素——藏红花酸是密切相关的。

12.9　最早的苯胺染料

大多数的概括性论断都包含那么一点点真理，而且有许多论断很容易让人记住。同时具有这样两种性质的论断，可以迅速地取得一种被认为是自明之理的地位，不管这种地位是否理所应当。一句被经济历史学家和社会历史学家反复提到的陈述，可以作为一个例子——19世纪的化学科学是纺织工业的产儿。但是，历史事实并不支持这种论点。本书在前面（第Ⅳ卷，第8章，第1篇）已经指出，近代化学科学的主要起源在于职业化学家布莱克（Joseph Black）、基督教一位论派牧师普里斯特利（Joseph Priestley）、巴黎的重要人物拉瓦锡（Antoine Laurent Lavoisier）、大学数学导师兼气象学家道尔顿（John Dalton）等人的工作。除了普里斯特利外，别的人都与纺织工业没有联系，普里斯特利与纺织工业联系也很遥远[1]。纺织工业确实极大地刺激了制造化学，但对于纯粹科学的发展影响很小。不认识到这个事实，就难以明白染色技术为何在19世纪的大部分时间内都不得不依赖于“天然”染料。大约在1850年之前，化学还没有发展到足以弄清染色素复杂结构的程度，也就没有一条明确的道路可以让化学家有希望制造出一种新的染色素。当第一次发现一种有用的合成染料时，它是作为合成一种天然退热药的一次失败导致的结果意外出现的。

268

1　普里斯特利的父亲是一名呢绒剪毛工，后来破产了；他的祖父是一位呢绒制造商，在普里斯特利还是12岁的小孩时就死去了。

在描述这些重大但又偶然的事件前，我们可以看一下自从发现氧、确定大气成分和建立原子理论以来，化学领域发生了一些什么事情。用现在的观点看，那些重大的进展出自对有机化合物的研究，它们是从植物和动物的有机体中直接或间接获得的。这个领域的先驱是瑞典化学家舍勒（Carl Wilhelm Scheele，1742—1786），他制备了酒石酸，分离出了甘油，证明了尿酸存在于尿结石中，发现了氢氰酸。在生命的最后两年，他指导了对草酸、柠檬酸、苹果酸和五倍子酸的研究。

舍勒的工作成绩虽然辉煌，但主要是预备性的。第一个对有机化合物进行分析的人是拉瓦锡，他证明了其中的主要成分是碳，而且通常还含有氢和氧，有时也含有氮、硫和磷。对某些有机物的定量分析，则是由柏齐力乌斯（J. J. Berzelius，1779—1848）实现。1830 年李比希（Justus von Liebig，1803—1873）发明了一种通用的分析方法，采用反应物质的已知重量，测出它在燃烧或者说“烧毁”时产生的二氧化碳和水的重量，结合碳和氢的原子量，就能确定出那些仅含有这两种元素的化合物的分子中的原子数。如果化合物中还包含氧，氧所占的比例便可以通过差值得到。后来，测定有机化合物中的氮和其他元素的方法也被精心研究。到 19 世纪中叶时，就分子中原子的种类和数目来说，许多有机化合物的结构已经被确定。

1828 年，维勒（F. Wöhler，1800—1882）发现了一个奇特而基本的有机化学现象。他注意到虽然尿素和氰酸铵是完全不同的化合物，它们的分子中却含有同样的原子，同种原子的数目也相同，类似的现象还有很多。可以给出的解释是，碳、氢、氧等原子在各原子数目给定的情况下，可以因原子排列的不同而形成一种以上的分子，从而组成一种以上的化合物。从本质上说，这种现象是基于碳原子相互结合能够形成大量多种多样的框架结构，其他元素的原子

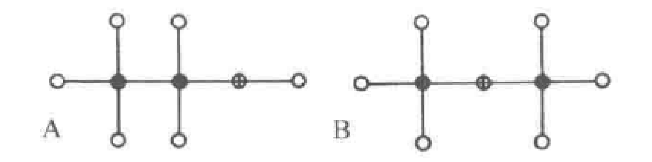


图 142　同分异构现象的一个例子。乙醇（普通酒精，A）和二甲醚（B）的分子都包含 2 个碳原子、6 个氢原子和 1 个氧原子，然而它们是完全不同的物质，因为这两种物质的原子排列不同。○，氢原子；●，碳原子；⊕，氧原子。

则可以“搭”在这种框架结构上。由彼此相同的原子组成且同种原子数目相同的不同化合物，互称为同分异构体，这是柏齐力乌斯给出的命名。开始的时候，这种同分异构现象看起来令人费解，但对它的研究逐渐导致人们可以非常透彻地理解有机化合物的分子内部结构（图 142），特别是它给出了使用“结构式”的必要性。结构式不仅表示了在一种化合物分子中的每种元素各有多少个原子，而且表示了这些原子的据认为是实际的排列模式。

与此同时，有机化合物的另外两种重要特征也渐渐显露了出来。第一个特征是存在着一些由密切相关的物质组成的完整族，一个族的成员形成一个系列，每一个成员与两边紧邻的成员的差别分别是多一个碳原子和两个氢原子或少一个碳原子和两个氢原子，这样，一个系列中的所有成员就具有许多共同特性。第二个特征是在一种化合物中，某个特定的原子团以一些特定类型的化学活性来显示存在，这样，制造或者合成将按预定方式表现作用的化合物的道路就打开了。

与这种理论知识方面的进展相一致的是，从天然原料中分离出来的和在实验室里制备出来的有机化合物的范围在迅速扩大。对于 19 世纪后期合成染料工业的发展来说，苯是这些化合物中最重要的一员，这种无色易燃的液体是法拉第于 1825 年在一个装着压缩照明石油气的圆筒内发现的。稍后几年，这种液体通过一种化学方法从苯甲酸（取自芳香族树脂安息香胶）中获得。1842 年，利（Leigh）发现苯存在于煤焦油中。然而，直到 1845 年成为霍夫曼富有成果的科研课题时，苯在这个舞台上的表演才有了效果。

霍夫曼(August Wilhelm von Hofmann，1818—1892)生于吉森，在格丁根学习了哲学和法律后，成为李比希的助手。1845年，伦敦的皇家化学学院成立，霍夫曼被任命为院长。他的化学天才、热忱和教学能力相当出众，很快就吸引了一群著名的青年化学研究者。1856—1865年，他成为皇家铸币局的化学家。1861—1863年，他担任伦敦化学会会长。1865年，他被召回柏林任化学教授，翌年为筹建德国化学会而奔忙。

270

霍夫曼第一个认识到煤焦油是有机化学家的丰富宝藏。他和助手全身心地投入工作，利用通过分馏法至少可以把不同沸点的不同成分部分分离出来的事实，研究和分离煤焦油的各种成分。他的一位助手曼斯菲尔德(Charles Mansfield，1819—1855)非常热衷于这项研究，在寓所内装备了一个私人实验室，以便业余时间继续工作。不幸的是，有一次正在分馏的煤焦油着了火，曼斯菲尔德捧着蒸馏甑跑到街上，结果受到了致命的烧伤。这就是霍夫曼门徒的精神。

苯是霍夫曼从煤焦油中分离出来的一种物质，这是他此后许多研究的起点。人们一直知道，用硝酸处理苯时会生成一种叫作硝基苯的黄色油状物质，它在还原时会产生另一种油状物质苯胺(aniline)，这样命名是因为苯胺首先是从靛蓝中制备出来的，葡萄牙语称靛蓝为*anil*。然而，霍夫曼找到了一种比以前更好的还原硝基苯的方法，并且能够批量地制造苯胺。霍夫曼与他的同事们发现，苯胺仅是一类多少有点相似的化合物中的一种，还有大量激动人心的物质值得重视。

这些与苯胺相似的物质中有一种是烯丙基甲苯胺，它从化学分析上看具有一种会使人想起奎宁的化学构造。这两种物质之间的可能联系，使得霍夫曼的另一位学生珀金(William Henry Perkin，后来的威廉爵士，1838—1907)试验用烯丙基甲苯胺制备奎宁。当时，18岁的珀金像曼斯菲尔德那样，在家里建立了一个私人实验室。关于这个实

验室，他说道：

我自己的第一个私人实验室占一个呈长形的小房间的一半，有几个放瓶子的架子和一张桌子，在壁炉处设了一个炉子，没有自来水，也没有煤气。我通常用老式的柏齐力乌斯酒精灯工作，并在一个小棚里燃烧焦炭。每个傍晚和放假的日子，我就在这个实验室内工作着……

在这种制备奎宁的尝试背后，研究者所依据的想法很简单。烯丙基甲苯胺的分子有 10 个碳原子，13 个氢原子和 1 个氮原子，用化学式简明表示就是 $C_{10}H_{13}N$。与此类似，奎宁的分子有 20 个碳原子、24 个氢原子、2 个氮原子和 2 个氧原子，化学式就是 $C_{20}H_{24}N_2O_2$。珀金认为，用一种很容易产生氧的物质作用于烯丙基甲苯胺，就有可能使两个烯丙基甲苯胺分子各失去一个氢原子，把这两个分子的其余部分添加上两个氧原子而结合起来，那么氢原子将以水的形式被排除。用一个化学方程式表示，就是：

271

$$2C_{10}H_{13}N+3O \qquad C_{20}H_{24}N_2O_2+H_2O$$

即使期望成功未免天真，但这个方案至少有着合理的基础。珀金制备出烯丙基甲苯胺后，就用硫酸和重铬酸钾处理它，后者提供所需要的氧。然而，没有奎宁生成，只有一种污秽的淡红棕色的沉淀物。不成功带来的失望并没有减小珀金的兴趣，他决定对苯胺进行一次类似的实验。这一次的生成物是一种黑色的残渣，同样没有带来什么希望。但是，当用水把这种残渣煮沸时，他发现其中一部分溶解生成淡紫色的溶液，并由此获得一种紫色晶体。实验表明，它能带给丝织物一种明亮的紫色光泽，洗涤时既不脱落，也不容易褪去。事实上，这就是最早的“苯胺染料”。

珀金在朋友的鼓励下，把他的一个染丝样品送到了珀斯的普拉斯公司（Pullars of Perth），这是染色业者的一个主要公司。1856年6月，他收到了如下复信：

假如你的发明不会使商品太昂贵的话，它无疑是长期以来最有价值的一种。这种颜色一直是所有各类商品都非常希望具有的，却不能持久地染在丝织品上，只能高成本地染在棉纱上。我在信中附上一个我们染在棉纱上的**最好的**淡紫色样品，整个英国只有一家染坊能染，但染得也不是十分持久，也不能经受像你的染料所经受的那些试验，而且一旦暴露在空气中就褪色。这种颜色在丝织品上总是很容易褪去……

这封令人十分满意的复信，让珀金决心为他的新染料取得专利并投入制造。一开始，他在自己家的后院生产，但很快就对产品的成功把握十足，有理由建立一个工厂。珀金的父亲先期投入了必需的资金，身为建筑师的哥哥T. D. 珀金（Thomas Dix Perkin，1831—1891），也同意加入。1857年，珀金的工厂在哈罗附近的格林福德格林（Greenford Green）建起来。

272

尽管用珀金的“苯胺紫”染丝是一件简单的事情，特别是——正如珀金所发现的——用一种含有肥皂的染浴，但在更为重要的棉织物上，一开始并未取得令人满意的结果。不过，经过多次实验之后，珀金发现用丹宁酸媒染棉布可以克服这个缺点，产品从此几乎供不应求。普拉斯公司的人曾写信给珀金：“我高兴地听到，对你的这种颜色的狂热追求，已经在我们这个社会具有无上权力的阶层——女士当中开始形成。假如她们一旦嗜此成癖而你又能满足需要的话，你的名气和财富就有保证了。”

不久，珀金的紫色染料同样在法国流行，并被称为“淡紫”

(mauve)。在那里，他制造染料的专利被认定为无效，当地的染料生产商自然由此获益。不过，这种颜色在巴黎的成功流行，对它在英国的销售产生了有利的影响。维多利亚女王在1862年万国博览会上穿了一套淡紫色礼服，一便士邮票印成淡紫色，《旁趣周刊》(*Punch*) 则记载了伦敦警察要求街上的闲逛者"去穿上一件淡紫色的衣服"。一个孤立的观察结果居然能够获得如此广泛的效果，这是很少见的，尽管随后付出了巨大的努力才把事情弄明白。

35岁的时候，珀金已经积累了一笔足够多的财富，从商业事务中退出，重新进行化学研究。但是，染料仍然不断吸引着他的兴趣，我们还将有机会提到他的一些进一步的工作(边码277)。

由这种淡紫色染料引出的理论问题(其重要性不亚于它在商业上的成功)，很快就把其他的研究工作者吸引到苯胺及其同类物的研究上，不久又有几种染料问世。1859年，贝吉恩(Verguin)发现了洋红，从此它就有了对人类有益的生命力。曾经为珀金暂时背离纯粹化学而气恼的霍夫曼，证明了洋红(也称为"品红")能够很容易地转变为紫色染料玫苯胺(或称为"霍夫曼紫")。大约在同一时候，一种与此同类的化合物——玫苯胺蓝，由吉拉尔(Girard)和德·莱尔(de Laire)在法国、尼科尔森(Nicholson)在英国各自独立地制备了出来。这种有用的染料不太溶于水，在应用方面受到了一定的限制。不过，尼科尔森终于找到了用浓硫酸来增加它的可溶性的方法。在最终的反应中，部分硫酸分子进入这种染料的分子内部，或者像我们现在所说的，"染料被磺化了"。尼科尔森实现了他的目标，因为磺化的染料很容易溶解。但是，他所做的其实更多，因为后来发现磺化方法对许多其他染料也有类似效果，而且被磺化的染料具有很强的酸性，从技术观点看，这是个相当大的优点。

273

1834年首次被人们注意到的一种重要的黑色染料，由莱特富特(Lightfoot)在1863年重新发现，它就是苯胺黑。饶有历史性趣味

的是，它是在棉织物上直接产生的，方法是先将棉织物用苯胺盐浸渍，然后对饱含在织物中的苯胺盐进行氧化。多种物质可以用于实现氧化，其中有重铬酸钾、氯酸盐和氯化铁。人们发现，添加少量的其他某种金属盐，可以提高这种染料形成的速率。最早的苯胺黑在空气和光照下暴露一段时间后，存在变成黑青色的趋向，用它染成的教会法衣、博士长袍以及其他衣着外套，显示出这种令人乏味的陈旧色调。直到人们后来发现了其他类型的苯胺黑，这些缺点才被克服。

与此同时，一种将在染料化学中被证明是非常富有成果的新型反应，被德国人格里斯（Peter Griess，1829—1888）注意到了。这种反应被称作重氮化反应，因为其中有关的特征原子团包含两个氮原子。1858 年，格里斯慕霍夫曼的大名来到英国皇家化学学院工作。在此之前，这位 29 岁的年轻人就发现了这个反应。他到达学院的那个早晨，门卫拒绝这个“奇怪的家伙”入内，因为他穿着“一件淡红棕色外套，下面是一条不可名状的海绿色裤子，戴着一条鲜红色的针织围巾，加上一顶宽大的高顶礼帽，帽子的大小和形状在牛津街上可说是空前绝后”。双方发生了争执[1]，直到霍夫曼亲自到门口来查看，格里斯才被允许入内，不到 1 个小时就开始努力工作。4 年后，他移居特伦特河畔伯顿，成为著名酿酒商奥尔索普父子公司（Allsopp & Sons）的化学家。

苯胺和它的同类物被证明十分易于进行重氮化反应，当用苯酚（石炭酸）和其他具有类似性质的物质处理生成的产品时，能产生有色体。这些有色化合物中，有一些作为染料被证明是十分令人满意的。格里斯自己制备出来几种染料，但第一种完全成功的偶氮染料（这里用了对这类染料的命名）是俾斯麦棕，1863 年首先由马蒂乌斯（Martius）制备出来，第二年就在曼彻斯特投入生产。与此同

1　格里斯对着门卫大声喊道："Ich heiße Griess und bleibe hier!"（德语：我叫格里斯，我就待在这儿了！）

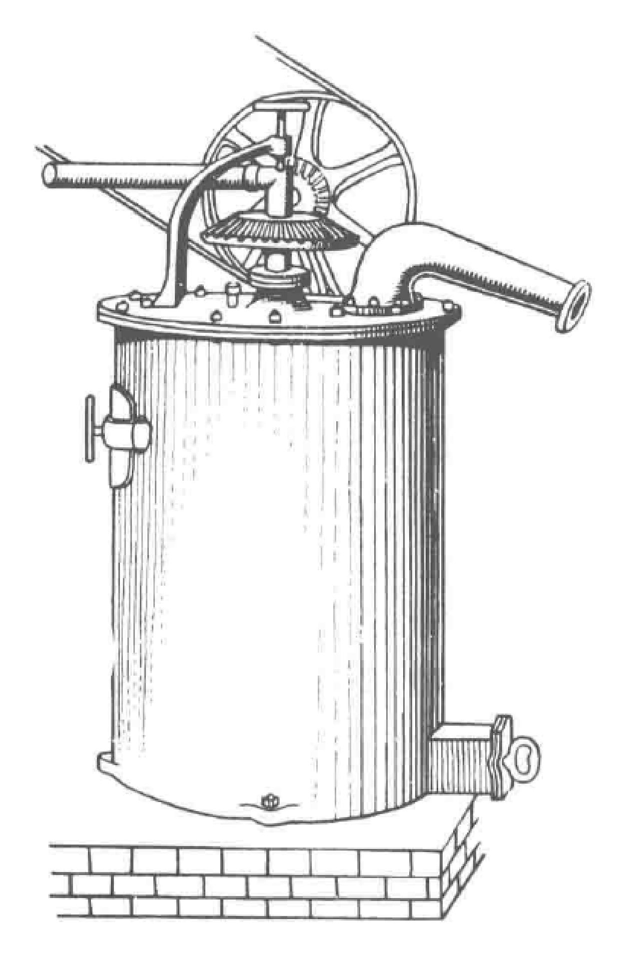


图 143　珀金用于制备苯胺的装置。反应物用高压或过热蒸汽加热，并借助一台蒸汽机进行搅拌。

时，另一种有价值的偶氮染料"引杜林"被发现，能够生成从紫蓝到淡绿蓝的各种色调。最初，它是以一种能溶于酒精但不溶于水的形态被人们得到的，虽然这种酒精溶液适于以丹宁为媒染剂给棉布染色，但不能用于染丝。为此，一种可溶于水的引杜林衍生物通过磺化制造出来，染料对丝产生了良好的染色效果。当时的另一种染料是柯衣定，由维特（Witt）在1876年发现，它在一种丹宁媒染剂的配合下，可将棉布染成淡棕红色。

274

珀金并不是唯一意识到合成染料潜在商业价值的年轻人。1864年，莱文斯坦（Ivan Levinstein，1845—1916）就在曼彻斯特的布莱克利（Blackley）制造洋红、紫色、俾斯麦棕和其他染料。在那里，还有一家基础稳固、运行良好的染料制造公司——罗伯茨-戴尔公司（Roberts, Dale & Company）。这家公司十分幸运，因为它的研究人员包括德国印花工卡罗（Heinrich Caro，1834—1910）。他虽然未受过正规化学教育，却表现出了对这门学科一种特别的天赋，我们将有机会再次提到他（边码 277）。显然，这些公司以及其他一些公司都很兴旺发达。随着染料需求不断增长，有必要改进中间体的制造，所谓中间体就是从原料制备而成的物质，它不是为了直接使用，而是为了随后转变成最终产品。染料工业中的主要原料之

一是从煤焦油中得来的苯，它经硝酸和硫酸处理后转变成硝基苯，接下来被还原生成苯胺（边码 270），即染料中间体之王。珀金制造所需的硝基苯和苯胺时，借助铁和醋酸实现硝基苯的还原，有关反应是在带有机械搅拌器的蒸汽加热罐里进行的（图 143）。

12.10 凯库勒的苯结构式

在染料工业的早期年代，有机化学的理论获得了重要的进展。如果要描述那些新概念，那将与这篇记叙的目的不符，但鉴于其中的一个新概念对染料的改进影响巨大，有必要对它进行简要论述。虽然苯是早期人造染料的母体，但在发现这些人造染料的时候，苯分子的结构仍然不明确。当时的人们已经知道，苯分子包含 6 个碳原子和 6 个氢原子，但原子的排列方式仍然是一个谜。这种信息的缺乏最初还不是一个严重障碍，但随着染料研究和其他苯衍生物研究的日益重要和系统化，对苯分子结构给出一种阐释的需求就相应变得迫切了。没有这种阐释，化学家当然也能前进，但大部分都只能是摸索着前进。

275

十分幸运的是，凯库勒（Friedrich August Kekulé von Stradonitz，1829—1896）在 1865 年给出了关于苯分子的一个新概念，它经受了时间和实验的考验，而且经某种精细化后，现在仍然是可以接受的。在关于有机分子碳“骨架”的早期工作中，总是假定碳原子被排列成带有自由端的单链或支链。然而，假如苯的碳原子按上述方式排列，那么由此推断出来的性质跟它的实际性质完全不一样。像其他化学家一样，凯库勒被这个问题所困惑，直到一个想法终于在他的脑海里出现。当时，他正在赶写一本教科书，感到十分疲乏，于是把椅子转向炉火打起盹来。就在半睡半醒之中，他

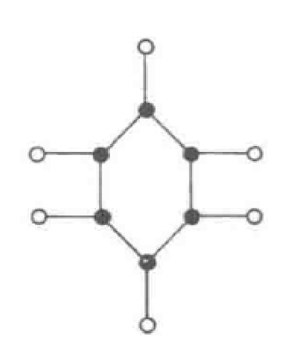


图 144 凯库勒关于苯分子的概念。○，氢原子；●，碳原子。

梦见苯的碳原子欢跳着、转动着，像蛇那样盘旋着，其中的一条蛇突然抓住了自己的尾巴，“这种形状在我眼前嘲弄地回旋着”。那6个碳原子并不是构成一条带有一些自由端的链，而是把自己排列成一个闭环，凯库勒构想出的苯分子应该如图144所示。当时，一幅轻浮的德国漫画提出了另一种情景（见章末补白图，边码283）。不过，正如肯德尔（James Kendall）指出的，假如猴子代表碳原子，那么每个猴子都应该在它空着的“手”中抓一根香蕉以表示一个氢原子。

为了方便起见，凯库勒的苯结构式通常被简化成一个平面六角形，每一个角代表一个附有一个氢原子的碳原子。苯分子的这个闭链或称环状结构的有用性立刻彰显，解释了许多先前认为不可思议的现象。在此基础上，许多系统化的研究得以规划，染料工业中十分重要的其他煤焦油产品的分子结构也变得清晰，例如白色晶体萘和蒽。萘被证明具有一种由一对苯环（除了有两个碳原子是公共的）构成的分子（图145），而蒽则是由三个这样的环构成的，中间的那个环与外侧的两个环分别有两个公共的碳原子（图146）。

这些基本事实为成功地完成两项业绩铺平了道路，尽管这些业绩在几年之前都被认定无法完成，它们就是茜素的合成以及更为困难的靛蓝的合成。

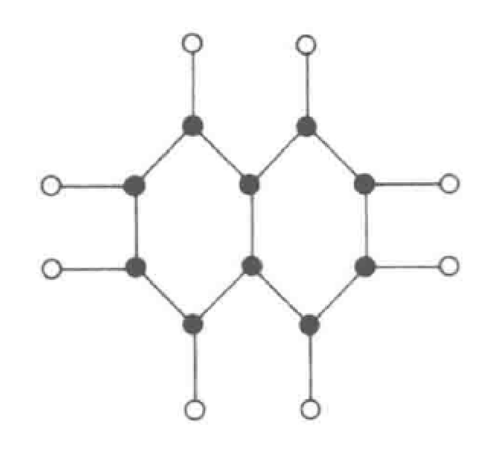


图145　萘的分子。○，氢原子；●，碳原子。

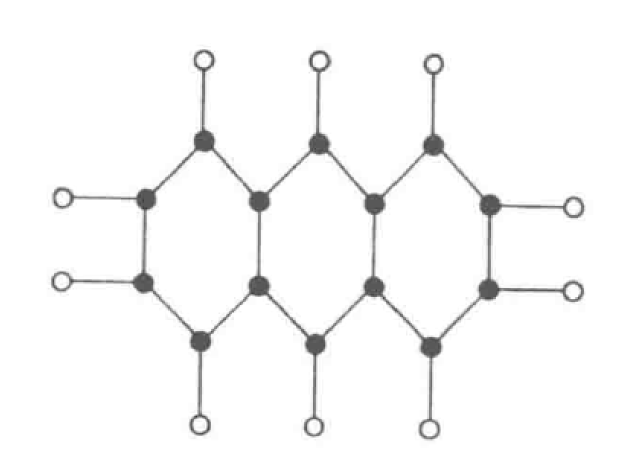


图146　蒽的分子。○，氢原子；●，碳原子。

12.11 茜素

1868年，欧洲茜草种植业的产量大约是7万吨。因此，谁能人工制造出茜草中的红色染色素——也就是茜素（边码260），谁就有望得到一笔丰厚的奖赏。化学家着手进行这种探求，德国的两位化学家格雷贝和利伯曼这一年开始试验在锌粉中加热茜素的效果。他们获得的产品被证明是蒽，这样的结果出人意料，因为茜素先前被认为是萘的一种衍生物。根据进一步的研究，他们确定茜素的直接母体是蒽醌，这是蒽的一种氧化产物。根据更进一步的工作，他们做出了慎重的猜测，茜素本身就是蒽醌，其中两个氢原子被两个羟基—OH所取代。把这个猜测付诸实验检验并不复杂，让溴作用于蒽醌，用溴原子取代了两个氢原子，然后用碱溶解这个生成物，两个溴原子就被羟基所取代。人们可以想象出他们在注视着最后那个反应时的紧张程度，但结果令人愉快，先前的猜测是正确的，经过最后的反应生成了茜素，这是1869年发生的事情。

一种合成茜素的方法就这样诞生了，但它作为一种制造工艺尚不现实，因为溴的价格很昂贵。格雷贝和利伯曼开始试验对蒽醌进行磺化（边码273），以代替溴化，因为一个磺基在用碱溶解时能被一个羟基所取代，正如一个溴原子能被一个羟基所取代那样。然而，事实证明蒽醌十分顽强地抵制磺化。这个困难的解决方法来自卡罗（边码274），正如珀金的苯胺紫那样，它也是一次偶然造成的结果。卡罗当时所在的德国染料企业巴登苯胺纯碱厂积压了一批蒽醌，找不到用途。为此，他设想通过用草酸和硫酸对蒽醌加热的方法从中制造出一种新染料。他把这三种物质放在一个瓷盆中混合，并在盆下面点上火，看到的结果却只是草酸的分解和消失。此时，卡罗被人叫了出去，离开时没有熄灭火焰。当他回来时，发现剩余物被部分地烧焦了，但留有一层粉红色的外壳，这就是茜素。茜素磺化的秘密显然是在高温下使用非常浓的硫酸，这个结论被随后的实验所证实。与此同时，珀金

277

也完全独立地解决了这个问题。他和卡罗（与格雷贝和利伯曼合作）都急于为自己发明的价值十足的方法取得专利，但卡罗以早一天的优势赢得了胜利，在1869年6月25日取得了专利，珀金的专利则是在第二天获得批准的。不过，事情得到了友善的解决，因为卡罗把他的专利转让给了巴登苯胺纯碱厂，这家工厂又把在英国制造茜素的许可证给了珀金。

接下来，珀金着手研究怎样确保从煤气厂获得蒽的正常供应。当时，蒽在一定程度上还是一种无用的物质，珀金不得不克服很大的困难去筹划一种稳定的收集方法。与此同时，他设计了另一种合成茜素的方法并获得了专利。这种新的方法更容易在生产规模上实施，起点是蒽本身。通过氯的作用，蒽中的两个氢原子被氯原子取代，蒽转变为二氯蒽，这种二氯化物随后被磺化，生成物被氧化成为磺化蒽醌，再用碱处理，磺基最终被羟基所取代，于是生成了茜素。

茜素的成功制造导致了茜草工业的破产，因为合成染料的价格远低于天然染料。曾经大片种植茜草的土地，不得不用于种植其他作物。

根据所用媒染剂（边码280）的不同，茜素能染出不同色调的织物。使茜草最早受到欢迎的鲜红色可用明矾作为媒染剂获得，只是织物必须先用特殊的油处理。前科学时代的“土耳其红”（第Ⅳ卷，边码249）也是用这种方式获得的，这是混有一种钾碱液的变了质的橄榄油或蓖麻油，不过就像本书早先提到的，这种染色操作的确切详情仍然有着某种模糊性。用铁盐作为媒染剂，茜素能生成紫色色泽，用铬盐则生成淡棕红色色调。

278

12.12 人造靛蓝

经过努力在茜素合成上所获得的成功，刺激了针对人造靛蓝

的研究。许多工作者着手解决靛蓝的分子结构问题，因为在把合成方法变为可行之前，化学家需要准确地知道究竟要他们合成什么。事实表明，这是非常困难的任务，但经过多年执着的研究还是令人满意地完成了。研究队伍里的主要人物是拜耳（Adolf von Baeyer，1835—1917），他稍后（1880年）发明了合成这种染料的一种方法，但是过程过于复杂，成本也太高，不能成为工业制备的基础。

然而，靛蓝合成已经实现的事实，鼓励着巴登苯胺纯碱厂非常慷慨地花费大量资金继续研究，尽管后来的进展极其缓慢。17年以后，据说花了大约100万英镑，一种在商业上成功的合成方法才由霍伊曼（K. Heumann 1850—1893）研究出来。即使这样，一个严重的困难依然存在，因为这种合成方法的起点是一种被称为酞酐的物质，这不是一种现成的原料，它必须在热浓硫酸的作用下从萘中制备出来。在通常条件下，这个反应的进行速度慢得令人生厌，这就使得产品的成本相应较高。运气又一次主宰了事情的发展，在加热一批原料的过程中，放在其中的水银温度计破碎了，负责现场的化学家扎佩尔（Herr Sapper）惊异地发现，反应速度大大增加了，这是因为由水银和硫酸生成的硫酸汞起到了催化剂的作用。

这次幸运的发现使得以非常低的成本大量制造酞酐成为可能，并有力地促进了靛蓝的工业合成在经济上的成功。1897年，这种合成产品首次投放市场，10年内几乎全部替代了天然靛蓝。一开始，染色业者对工厂制造的靛蓝尚有几分怀疑，需要一次有力的宣传运动打消使用人造靛蓝的顾虑。染色业者的态度并非全无道理的，因为正如在边码261处所提到的，天然靛蓝含有少量与纯靛蓝不同的物质，染色效果与合成染料多少有点不同。但是，使用一种纯染料的好处很快显而易见，因为纯染料总是值得信赖地染出前后一致的颜色。一旦起初的冷遇被打破，合成靛蓝的用量便急剧增长。印度

279

靛蓝的出口量从1895年至1896年间的约1.9万吨，降至1913年至1914年期间的约1100吨，20多万英亩专门种植靛蓝植物的土地一时闲置，许多靛蓝种植者破产了。在第一次世界大战期间，这个产业有一个暂时的恢复，因为当时合成染料供应不上。不过如今它已经可以忽略不计了。

12.13 一些其他的染料

"硫化染料"是在一种碱性硫化物中加热各种有机物质而制成的，其他某些含硫的但用其他方式制备的染料不归于此类。1873年，克鲁瓦桑（Croissant）和布勒托尼埃（Bretonnière）发现了最早的硫化染料。他们用硫化钠溶化糠，获得了一种能把棉纱染成绿色的生成物。1893年，维达尔（Vidal）在硫化钠中加热苯酚（边码273）的一种氮衍生物，获得了一种非常有用的黑色染料。此前不久，格林（Green）通过在硫黄中加热对甲苯胺——一种类似苯胺的化合物，制备出樱草灵黄。19世纪时，虽然硫化染料不能同对手竞争，但作为同类中其他染料的先驱仍然值得提及，因为那些染料后来被证明极有价值，一种现代染料"硫化黑"的世界年产量约为6000吨。

在含硫但不归于硫化染料的染料中，亚甲蓝是一个很好的例子。它在1876年由卡罗发现，现在仍然以丹宁为媒染剂用于棉布染色。它的衍生物亚甲绿同样被普遍应用，染出的颜色具有很好的持久度，耐洗涤，耐光照。1878年，由费歇尔（O. Fischer）发现的孔雀绿以丹宁为媒染剂，染出的棉布呈深绿色调，它也不是硫化染料，它的磺化生成物以"专利蓝"的名称在市场上销售。

刚果红在1884年由伯蒂格（Böttiger）发现，它是第一种能够直接染棉织品的合成染料，它的许多衍生物同样具有这个有价值的性质。阴丹士林首先由博恩（R. Bohn）在世纪之交制备，是一种十分持久的蓝色染料。它有着几种具有同样价值的同类物，但是直到我们

当前正在考察的时期过去以后才获得普遍应用。

12.14 染料的分类

化学家按照化学结构对染料进行分类，染色业者的分类则按照使用时的方法，从各种染料中区分出还原染料、直接染料、媒染染料、硫化染料和显色染料。 280

还原染料的典型是靛蓝。它们不溶于水，必须转变为一种可溶的衍生物，诸如靛蓝隐色体或称靛白（边码 262），然后才能被织物的纤维吸收。当织物纤维被如此浸渍后，这种染料隐色体重新转变回原来的形态并沉积在织物里。隐色变体——虽然又称白色体，但并不总是白色的——的形成通常是通过还原反应实现的（边码 262），重新转变则是靠大气中氧气的氧化。除靛蓝外，主要的还原染料还有阴丹士林类染料。

直接染料是那些直接在织物上染色的染料，刚果红是其中的典型。它们易于使用，在家庭染色中十分普遍。不过它们容易被洗去，而且通常有点缺乏光泽。

媒染染料或称间接染料必须先要应用媒染剂才能“固定”在纤维上，是媒染剂“咬住”（拉丁语是 *mordere*）或者说抓住了它们，这是一种化学作用。媒染剂或是酸性的，或是碱性的。最普通的酸性媒染剂是丹宁酸或丹宁，碱性媒染剂则由各种金属盐（比如明矾）提供。使用碱性媒染剂时，通常把织物浸在一种金属盐溶液，然后暴露在蒸汽中，这样就把金属盐水解为这种金属的氢氧化物，后者才是起作用的媒染剂。当被媒染的织物用染料溶液处理时，染料与媒染剂的一种固体络合物“沉淀色料”就在织物纤维内形成。由于沉淀色料是不溶的，染料就被固定下来。使用不同的金属盐时，同样的染料能够形成不同的沉淀色料，因此色调通常多种多样。丹宁酸用于媒染棉织物时，会与碱性染料形成一种不溶的络合物。

硫化染料是用于棉织品的直接染料，染色过程通常从一种含有纯碱和硫化钠的溶液开始。在某些情况下，硫化钠把染料还原成隐色体，然后在空气中被重新氧化。因此，这样的硫化染料类似于还原染料。

显色染料是在织物自身生成的不溶偶氮染料。把织物浸入能与一种重氮盐反应而生成一种不溶染料的某种化合物溶液，同时在冰冷的条件下制备这种重氮盐溶液。当把织物浸入第二种溶液时，染料便沉淀在纤维上。即使在微热的情况下，绝大多数重氮盐类也很容易分解，因此保持低温是必要的。

281

12.15 英国和德国的染料工业

虽然英国在合成染料的制造方面起步很早，但前面的叙述已经大致表明，在这个国家进行的许多工作应归功于德国的化学家们，包括格里斯、卡罗、维特和霍夫曼。这些临时居民中的大多数人（但是不包括格里斯）都在大约 1865 年至 1880 年间回到了德国，帮助创立了德国的染料工业。由于种种原因，特别是基本原料更容易获得，德国工业不久就超过了英国。1914 年战争爆发时，英国用的染料只有 20% 在国内制造，其余主要是从德国进口。这并不是由于英国化学家比起德国化学家来有什么逊色的地方，而是由于经济的因素。当敌对状态切断了来自德国的染料供应时，英国的化学技术，便在理论和工业两方面迅速发展起来。今天，英国仍然处在最先进的染料制造国家行列之中，正如在珀金爵士的时代那样。

12.16 染料的其他应用

虽然染料的主要用途是纺织物染色，但它还有很多其他的小应用，其中有些无论是从技术上还是从科学上讲都是十分重要的。有一种应用是对有机组织的染色，它导致了生物学研究领域的巨大进

步。约在 19 世纪中叶，这种技术的一位先驱索比（H. C. Sorby）就制备了水母和其他小动物的染色标本，使用的染色剂是胭脂红（胭脂虫红）、布拉斯李子汁、欧洲越橘汁，甚至有波尔图葡萄酒。这些标本有许多被裱装成幻灯片，如今仍然保存在设菲尔德的艺术馆和博物馆内。在对有机体细微结构的研究中，无论怎样估量，染色的价值都不会过高。在天然状态下的有机体中，许多最重要的结构细节是看不见的，但只要使用适当的染料就能被揭示出来，通过染色还能显露其中的生理学变化。

当合成染料变得唾手可得的时候，很快就被人们使用了，例如魏格特（Weigert）使用在他的显微解剖学研究中。1877 年，科赫（Robert Koch，1843—1910）发表了一篇关于细菌涂片固定方法和染色方法的报告，这是细菌学史上的一个里程碑。7 年后，丹麦医生革兰（Hans Christian Joachim Gram，1853—1938）描述了区别不同细菌群的一种十分重要的染色方法。某种细菌被染色后用碘化钾溶液进行处理，那么接下来用酒精处理时就不会褪色，这样的细菌被称为革兰氏阳性细菌。当其他的细菌群接受同样的操作程序时，在加入酒精后就失去了它们的颜色，这些细菌是革兰氏阴性细菌。两种细菌的区别还表现在其他性状上的不同，这就使得染料这种非常特殊的用法具有一种同其所用染料的实际数量完全不成比例的重要性，它们成为革兰的染色方法所依据的事实。1882 年，一个在某种程度上有些类似的观察结果由埃利希（Paul Ehrlich，1854—1915）得到，他发现大多数用品红染色的细菌在添加一种无机酸后就发生褪色，结核菌经如此处理后却仍保持着它们的颜色。这个事实在肺结核的早期细菌研究中极有价值，埃利希的技术后来由齐尔（Ziehl）和内尔森（Neelsen）做了改进，目前仍在细菌学中广泛应用。

282

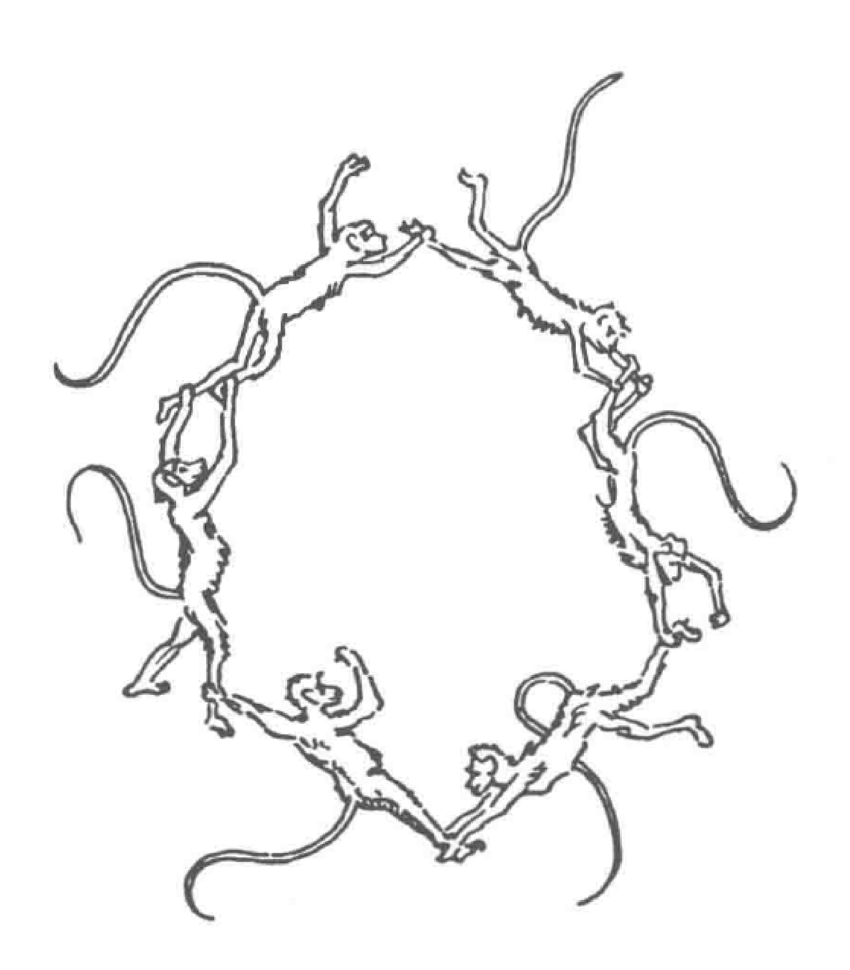
在摄影术中，染料也有广泛的用途。早在 1875 年，沃特豪斯（Waterhouse）就已经发现，通过添加红色荧光染料曙红，能够增加感

光乳剂对绿光的感光度。后来，为了把感光范围扩展到足以包括全部可见光谱（就像全色干片和全色胶片那样），人们使用了一种混合染料。在吕米埃兄弟（L. J. and A. M. L. N. Lumière）发明的彩色摄影术中，本质特征是一个由染了色的淀粉颗粒组成的系统。

许多染料用酸或碱处理时会改变颜色，这是染料的一个早期化学用途所基于的事实。例如，甲基橙在酸溶液中呈粉红色，但在碱溶液中变成黄色或橙色。这种类型的物质被称为指示剂，因为它们能指出一种液体是酸性的还是碱性的。此外，酸度或碱度的等级同样可以用适当的变色染料测量出来。

染料的其他应用还包括纸张、肥皂、木材、毛皮、头发、食品、香水、化妆品、皮革、蜡烛、塑料、油地毡和其他许许多多日用品的染色，甚至洞穴学家也把染料加以利用。据说，扔在门迪普一个落水洞里的一些荧光黄，在经过一段时间后，使几英里外的韦尔斯主教宫周围护城河里的水染上了颜色，这就解决了一直有争议的是否有一条地下连通道的问题。

Gardner, W. M. (Ed.). 'The British Coal-Tar Industry.' Williams & Norgate, London. 1915.
Hurry, J. B. 'The Woad Plant and its Dye.' Oxford University Press, London. 1930.
Johnson, A. and Turner, H. A. "Synthetic Dyes from the Time of Perkin." *Dyer, Lond.*, 115, 765–9, 1956.
Karrer, P. 'Organic Chemistry' (trans. by A. J. Mee, 3rd ed.). Elsevier Publishing Company, London. 1947.
Lippmann, E. O. von. 'Zeittafeln zur Geschichte der organischen Chemie.' Springer, Berlin. 1921.
Miall, S. 'A History of the British Chemical Industry.' Benn, London. 1931.
Morgan, Sir Gilbert T. and Pratt, D. D. 'British Chemical Industry: its Rise and Development.' Arnold, London. 1938.
Partington, J. R. 'A Short History of Chemistry.' Macmillan, London. 1937.
Rousseau, P. 'Histoire des techniques.' Fayard, Paris. 1956.
Rowe, F. M. "The Life and Work of Sir W. H. Perkin." *J. Soc. Dy. Col.* 54, 551–62, 1938.
Sachs, A. P. "A History of Dyestuffs." *Text. Color.*, 65, 487–9, 517–18, 1943.
Schorlemmer, C. 'The Rise and Development of Organic Chemistry.' Manchester. 1879.
Springer, J. F. "Pre-modern Dyeing." *Text. Color.*, 50, 87–89, 1928.



关于凯库勒苯环结构式的当代漫画。

第13章 炸药

J. 麦格拉思（J. McGRATH）

284

13.1 1850年的炸药

19世纪下半叶刚开始的时候，现代炸药工业还处于它的初生期。工业上的基础炸药——硝化甘油（甘油三硝酸酯）和硝化棉或称火棉已经发明出来，但它们的发展几乎尚未开始。所有用于普通民事目的和军事目的的炸药只是各种不同成分的火药，也称为黑火药。在军事领域内，炸药被用来作为弹壳中的一种爆炸物，并用于炸毁敌人的城墙和防御工事。第一次记载下来的用炸药进行的爆破于17世纪早期出现在匈牙利和德国。爆破的方法据说在1629年引入英国，不过更有可能的年份是1670年。1689年，康沃尔矿开始使用炸药进行爆破。由于炸药点燃方法的粗糙性，发生了许多死亡事故。1831年，比克福德（William Bickford）发明了矿用安全引信，再加上后来的改进，炸药带来的事故大大减少。

火棉是一种具有高度爆炸性能的物质，它是把硝酸作用于棉花和其他形式的纤维素而形成的，由舍恩拜因（C. F. Schönbein，1799—1868）[1]在1845年至1846年间发现，伯特格尔（Böttger）也在1846年独立地发现了它。当然，根据布拉科诺（H. Braconnot，1780—1855）的著作[3]，珀卢兹（T. J. Pelouze）[2]在1838年就已经证明硝酸与纸张和其他纤维材料作用能得出一种高度易燃的产物。舍恩拜

因在1846年来到英国，以泰勒(John Taylor)的名义取得了一项发明专利[4]。他与约翰·霍尔父子公司(John Hall & Sons)达成协议，后者将唯一有权在他们位于法弗舍姆的炸药工厂里生产火棉。不过1847年7月14日发生的一次火棉爆炸，不仅毁掉了工厂，还炸死了21人，让火棉生产在英国告一段落。在法国的万塞讷和布歇(Bouchet)以及在其他国家，也发生过火棉爆炸的事件。它们产生了糟糕的后果，西欧的火棉生产中断了约16年。但是，奥地利仍在生产火棉，伦克(von Lenk)在那里对生产过程做了某些改进。

硝化甘油是把硝酸作用于甘油而形成的一种具有高度爆炸性能的油质液体，由索布雷罗(A. Sobrero，1812—1888)在1846年发明[5]。直到1850年，它几乎没有得到什么实际应用，原因可能是它的危险性和使用液体炸药的不便性，再加上缺乏一种安全可靠的点燃方法，用它来获得可控制的爆炸也有很大的困难。诺贝尔(Alfred Nobel，1833—1896)在1859年至1866年期间证明，假如把少量的雷汞装在一个合适的管子内，与单独的或吸收在硅藻土内的硝化甘油相接触的话，就能够安全地导致强烈爆炸。直到这时，上述困难才被克服。

在1850年之前的许多年，金和银的雷酸盐已经为人们所知，但对任何用到它们的实际操作来说，这种物质都太灵敏和太危险了。不太灵敏的雷汞早在1800年就由霍华德(E. C. Howard)[6]首先纯化，但商用的雷管直到诺贝尔的发明(Nobel's discovery)出现之后才被人们使用。

13.2 火药

19世纪中叶，制造火药的方法早就牢固确立。人们充分地认识到，根据特定用途对火药的成分稍加改变，就能有明显的效果。嗣后50年中的进展主要限于机器设备方面的改进，研磨配料用的捣磨机

被废弃了，代之以碾碎机、球磨机以及类似的设备。配料混合引进了轮碾机，先是石制的，后是铁制的。水压机代替了螺旋压力机，蒸汽动力代替了水力，用蒸汽来为炉子和建筑物供热。此外，安全措施也得到了研究和改进。

1788年，贝托莱（Claude L. Berthollet）已经发现在火药中用氯酸钾代替硝酸钾（硝石），能够产生更强烈的爆炸。不过，他制造这种新火药的第一次努力以完全失败而告终。为制造出令人满意的含氯酸钾的炸药，人们进行了反复的尝试，但都没有获得成功，因为这种混合物对震动和摩擦极其灵敏。19世纪下半叶初期，氯酸盐炸药可能因此而被认为不能用于商业。

13.3 硝化甘油

286

索布雷罗制备硝化甘油所用的方法是，把半份甘油一滴一滴地加到由两份浓硫酸和一份浓硝酸组成的冷却混合液中，然后对整个混合液进行手工搅拌。这种方法在实际生产中被人们所采纳，只是在硝酸

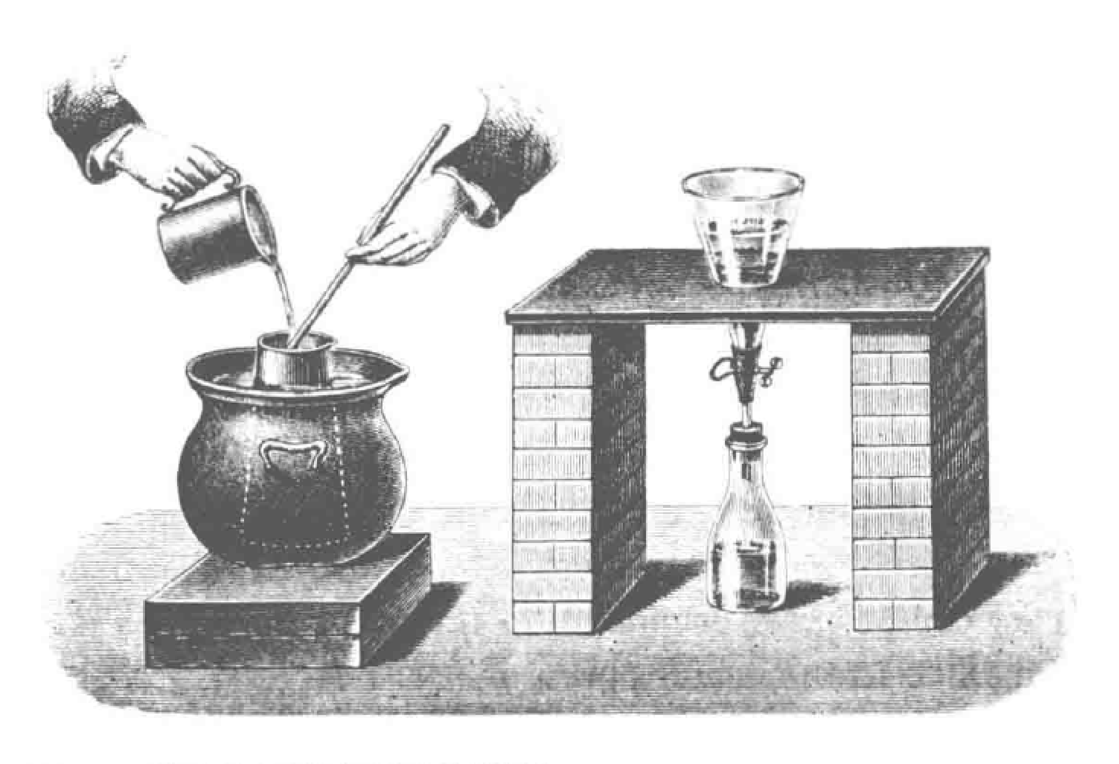


图147 用柯普的方法制造硝化甘油的装置。

和硫酸对甘油的比例上使用了各种各样的方案。一种最早的工艺方法由柯普（H. F. M. Kopp，1817—1892）开发，它是以一种予以简化的观点来设计的，目的是使硝化甘油可以在矿场现场制备并立即使用，或者不久就使用。这种方法所用的装置（图147）包括一个用来冷却和洗涤硝化甘油的大陶罐，一个用来进行硝化的、在其内外各有一个指示标记的铸铁罐，一个对甘油进行计量的铁皮制容器或者瓷制容器，一个用来进行分离的带有橡胶管、节流夹和出口管的玻璃漏斗，以及一根用来搅拌的铁棒。将5—6升冰水倒入陶罐中，陶罐中立着装有2.8千克混合酸的硝化铁罐，用计量容器把350克甘油倒入酸内，同时用铁棒不停地搅拌混合液。当所有甘油都倒入后，还要继续搅拌5分钟，然后将混合液沉浸在陶罐内的水中。这种粗硝化甘油就在这个罐内被水洗涤，水最终会通过漏斗分离出来。据说，用这个方法可以每小时操作3—4次。若甘油的重量以100%计，产物的重量则在140%—200%之间变化。这种硝化甘油是不纯的，只适于即时使用。

至1880年，欧洲大陆的一些工厂才用一种类似的方法制造硝化甘油，其中用来进行硝化的是立在一条长槽内的许多装满水的罐子。随着需求量的增加，人们引进了较大的硝化器，采用机械驱动的搅拌棒或搅拌器来进行搅拌。有一种硝化器如图148所示，它由恩格斯（Engels）安装在各个工厂中。在这套设备中，混合酸装料包括28千克硝酸和56千克硫酸，它们使10千克甘油硝化。搅拌器用手工操作，每分钟来回搅拌25下。当硝化完成时，拔掉排放管的塞子，混合物便流入一个盛有大量水的橡木槽。水的排

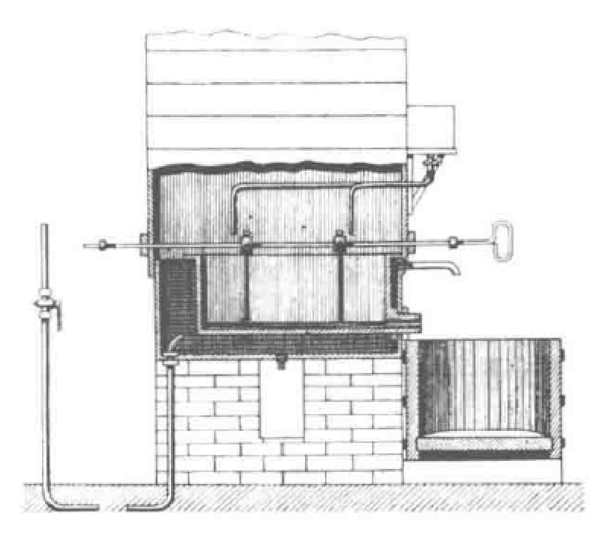


图148　恩格斯设计的甘油硝化器，以及硝化甘油沉浸和洗涤池。

放和更换是用倾析管进行的，硝化甘油则通过与水箱底部一根管道相连的橡胶管流出来。这个硝化过程要进行1个小时左右，平均产量是195%，10千克甘油可产出19.5千克硝化甘油。

在硝化器设计方面的进一步发展是把机械搅拌和压缩空气搅拌结合起来。这种硝化器一般由一些被一个圆锥形盖子盖住的大型铅制容器组成，这些容器竖立在一个大木桶中，并装有一种螺旋形搅拌器，由一根被水轮驱动的轴转动。一个水平的圆盘装在搅拌器的这根轴上，甘油注到这个圆盘上，作为离心力作用的结果，甘油以微细油滴的形式从圆盘抛洒到酸的表面。还有一根空气管道通到这个硝化器的底部，硝化器的内部也有一根铅制的冷却盘管。硝化过程中，温度由一个穿过盖子的温度计显示。盖子上还装有一根烟道，用来排除反应过程中形成的气体和烟雾。这套设备通常安装在山坡上，这样可使物料在重力作用下从硝化过程的这一步流到下一步。

随着机械搅拌在英国逐渐被全部废弃，空气搅拌独行天下。用来冷却的水通常用贮水箱从最近的天然水源取来，到夏天水变得相当热，因而要降低生产率，以保证硝化能够安全进行。在几乎所有的工厂中，硝化过程中所允许的最高温度是25℃，视情况通过改变甘油或冷却水的流速而获得。假如反应不能据此得到控制的话，可以将全部装料通过硝化器底部的一个阀放到盛有大量水的沉浸池内。

在早期的硝化甘油分离工艺中，是在硝化结束时，把所有装料浸在水中沉淀，让硝化甘油从沉浸容器的底部排出，废酸因此而被水大大地稀释，于是全部损失掉。在沉浸过程中，还会形成许多有毒的烟雾，使得这个工艺既不方便又对工作人员有危险。有鉴于此，直接的分离方法被采纳。这个方法是在硝化完成时，把装料流放到一个分离器中静置，直至大部分硝化甘油分离出来，停留在残酸的上面。分离所需的时间差别很大，若使用高质量的甘油和无悬浮物质的酸，则分离进行得很快，但若使用低质量的甘油或被污染的酸，则会形成浮渣

和乳胶，从而严重妨碍分离的进行。即使从最乐观的角度看，分离也绝不会进行得很彻底，酸仍然把一些硝化甘油保留在悬浮液和溶液中。于是，这些酸又由重力输送到另一厂房中的另一个分离器中，这被称为“后分离器”。酸停留在后分离器中，直到又有一定量的硝化甘油被分离出来，这样产量便有所增加。

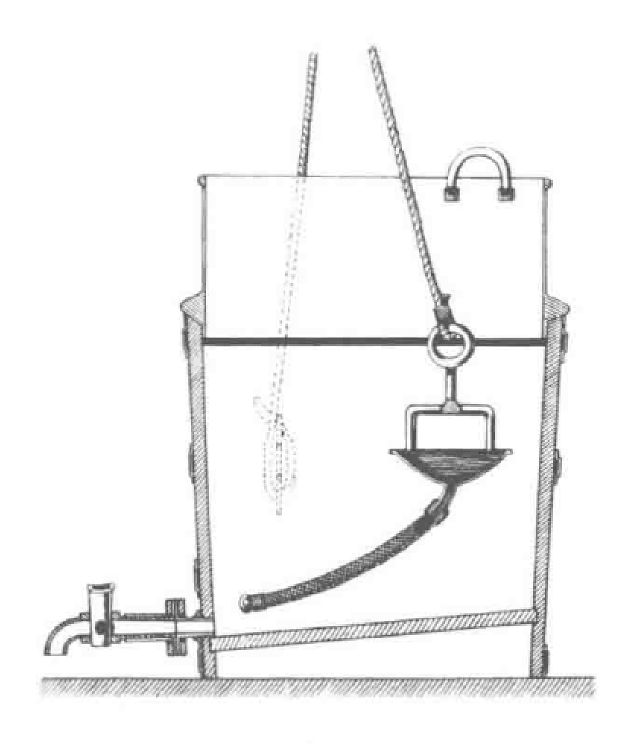


图 149　硝化甘油洗涤容器。

最初，分离出来的硝化甘油在一个木桶中用水通过简单的搅动来洗涤，搅动用的是固定在棍子上的一块木板。后来，洗涤先后在两个大木桶中进行。大木桶内装有搅动器，样子与用于搅乳的搅动器相似，起先是手工驱动，后来改为机械驱动。机械搅动又及时地被空气搅动所代替，铅衬的大木桶也被引进，它在设计上类似于上面描述的预洗涤容器。在阿迪尔（Ardeer，在克莱德的弗斯）使用的一种装置主要是一个铅衬的容器，里面的洗涤水可用一种撇水器排出。这种撇水器主要是一个漏斗，下端口子上装有一根橡胶管，连到靠近容器底部并穿过器壁的一条管道上。图 149 显示了一种类似的装置。最后的洗涤使用了一种稍稍过量的碳酸钠溶液，在高达 50℃的温度下进行。洗涤水要通过各种各样的沉淀池和迷宫式通道，以除掉其中所有残存的悬浮硝化甘油，然后才流向排水管。

一般来说，硝化甘油接下来要经过过滤以去除其中的浮渣，通常在滤网上放有一层盐以除掉水分。然而，在一些工厂中，仅仅将硝化甘油置于一个适当的容器内，大部分的水会上升到表面，硝化甘油就能以无水状态放出。在阿格龙（Hagron）所建议的一种在翁日

使用的装置中，采用了一种海绵过滤器，但这种装置只对小规模的工厂适用。

来自后分离器的残酸仍然含有溶解状态和悬浮状态的硝化甘油，还有一些低级的硝化物，必须把它们清除掉，这些酸才能被回收继续使用。最初，人们让酸在开口的大桶或有木箱保护的小口大玻璃瓶内时间静置很长一段时间，不时地撇去其中的硝化甘油。但是，这个方法发生过几次事故，后来便采用了类似于硝化器的容器。将这些容器立在一个冷水槽内，或在其内部装上冷却盘管，分离出来的硝化甘油便通过分离器圆锥形盖子顶端上的一根玻璃管向上移动，从而按要求被排除。

在制造硝化甘油的早期阶段，硝化、分离和洗涤的操作全部在一个房间内进行，炸药从一个容器到另一个容器的输送是通过长度相对较短的管道来实现的。随着制造规模的增大，首先有必要把洗涤放在一个单独的厂房，后来又有必要把这三个阶段全都分离开来。硝化甘油用管道和明沟输送，但这些输送途径特别是管道在冬天可能会冻结，使得硝化甘油在弯曲处、裂缝处和接头处发生堆积。结果，大部分管道都停止了使用，明沟则被封在有顶盖的通道和导管内。人们同时也发现，利用重力输送硝化甘油是很安全的，还可以最方便地实现，只需把厂房设在一个山坡上，硝化室位于山顶，分离室和洗涤室依次设在较低的高度上。

最早的硝化甘油厂房的地面都覆有沙子或一种具有吸收性的泥土——例如硅藻土，以吸收溅出的硝化甘油或酸。在阿迪尔，工厂建筑在天然覆有精细的海滩沙的地方，没有铺设地板，最上面一层沙子则不时地予以更新。逐渐地，木制地板铺设了起来。但是，直到英国在1875年通过《炸药法》(*Explosives Act*)以及其他国家通过类似的法案之后，人们才普遍地铺设地板，而且在有危险存在的厂房中，保持工作台和器具装备的清洁以保证没有沙砾，成了一种强制性的做法。

290

13.4 火棉和硝化棉

舍恩拜因所用的制备火棉的方法（边码 284），是把 1 份棉花浸在 20—30 份的一种混合液内，并把温度维持在 10℃—15℃。这种混合液包括 3 份浓硫酸和 1 份浓硝酸（以重量计），反应可以进行 1 个小时。把液体倒出，先用水洗涤火棉，再用稀释的钾碱洗涤，以把酸去掉。接下来，再次用水洗涤火棉，把水榨出来后，浸在 0.6% 的硝石溶液中，再次把水榨出来，最后在 65℃下干燥。

人们对这种方法做了几项改进，其中包括克拉姆（W. Crum）[7] 推行的原棉净化，还有奥地利军队的伦克所采用的更加彻底的硝化和洗涤。然而，在火棉制造中遇到了许多困难，而且发生了几次严重的事故，使得整个欧洲都放弃了制造火棉。后来，阿贝耳（Frederick Abel）[8] 证明，只有把所有残存的游离酸完全清除掉，火棉的稳定性才能得到保证，而要做到完全清除，只有彻底粉碎火棉，使洗涤液浸入纤维。根据这一原理，他开发了一种使火棉稳定化的方法，在 19 世纪后半叶得到了普遍推广，至今仍在应用。

在沃尔瑟姆阿比实施的结合了阿贝耳方法的火棉制造方法中，棉花经过仔细挑选，去除钉子和其他异物，然后予以梳理，并用苛性钠溶液处理去除油和脂肪，再用水洗涤，以去除苛性钠，最后在 90℃—95℃的温度下干燥。干燥后，把棉花按重量装入一个个适当的容器内密封存放，直到完全冷却。

硝化是在铸铁或加固铅的浸渍锅里进行的。这些锅立在一个大水箱或大水槽内，冷水通过水箱或水槽控制硝化的温度。混合酸在成分上与伦克所用的基本相同，要预先大量地混合好，然后按需要提取。由于棉花的体积很大，混合酸与棉花的比例通常较高，一般约为 30:1，但一些工厂采用的比值更高。在浸渍锅里注入所需重量的酸后，迅速塞进棉花，并用一种三尖头的铁叉将棉花淹没在酸中，然后盖上锅盖，烟雾通过盖子上的一些排泄孔排出。如果使用的是铸铁锅，则

291

将棉花经5—6分钟的硝化后，转移到一个陶制锅内，让棉花连同附着在上面的酸静置，约经24小时后便完成硝化。如果使用的是铅锅，则让棉花留在酸中约2—3个小时，便可认为硝化已经完成。尽管人们一次又一次地试用了各种其他类型的硝化容器，包括更精巧的浸渍锅、硝化离心机和真空硝化器，但没有任何一个得到了广泛使用，主要是因为原始成本和维护费用太高。

硝化完成时，把全部装料放在离心机内旋转，使火棉从残留的酸中分离出来，再把被酸弄湿的物料迅速沉浸到大量的水里。然后，在机器（类似于造纸中的打浆机）中用水洗，一直洗到洗涤水不再呈酸性为止。接下来，把湿火棉移送到一些装有带孔的假底和蒸汽盘管的大木桶中，用水或浓度约为2%的碳酸钠溶液烹煮火棉，以除去大部分的酸。烹煮的持续时间根据所处理量的不同而不同，短则8小时，长至4天。如此处理之后，火棉仍保留着微量的酸，要用一种打浆机把它们全部清除。这种打浆机主要包括一个大的铁轧辊，上面安装着一些平行于轴的钢刀，还有一个装着类似钢刀的底刀板。当轧辊转动时，悬浮在水中的火棉从两副钢刀之间穿过，从而被打成浆，浆的精细度可以通过调节轧辊与底刀板之间的距离而得到控制。有些打浆机装有圆筒状过滤器，可以让一股连续的水流在打浆时流过机器，火棉在被打成浆的同时得到清洗。这种浆状火棉又被移送到“精洗机”中，这种大型容器能够容纳约10英担火棉和1000加仑水，并装有动力驱动的桨叶用于搅动。物料在这里至少用水洗涤三次，两次洗涤之间都要进行静置沉淀。接下来，物料先被送到搅拌机（这种机器与精洗机相似），再送进“储浆池”，如果需要将炸药用于某种目的，就在那里加进碳酸钙，最后用离心机分离。这样取得的湿物料包含约40%的水，压缩成块后可以用于拆毁作业或爆破作业，或者被干燥后掺和到其他炸药中。

292

上述方法用的是废棉或棉籽绒，生产的是“不溶”火棉。为了生产所谓的“可溶”火棉或称“胶棉”——一种用于制造火棉胶和某些

类型发射药的硝化棉，需要使用含有更多硝酸和水的混合酸，而且硝化要在40℃的温度下进行。在阿迪尔，当需要“爆炸用可溶硝化棉”——一种用于制造爆胶的胶棉时，就用一种混合酸对棉纡脚进行硝化，这种混合酸含有相对较少的硫酸和较多的水，硝化则在常温下实现。除此之外，棉花的准备工作和硝化棉的处理，则与制造火棉时相同。

13.5 爆炸药

1846年，舍恩拜因用火棉进行的试验，成为使用近代高性能炸药进行爆炸的最早实例，他估计1磅火棉相当于大约4磅黑火药。同年，舍恩拜因的专利权许可证的持有者约翰·霍尔父子公司，发表了对他们所制造的火棉炸药包的简短描述，公开了如何用它们进行爆炸的说明书。他们宣称，这种炸药包在点燃时只用一个引信管，4盎司火棉相当于24盎司火药的爆炸力。

由于已经提过的理由（边码285），硝化甘油在爆炸方面的应用几乎没有进展，直到诺贝尔发现硝化甘油可以被一种惰性材料——例如硅藻土——所吸收，从而得到一种混合物，这种混合物对震动的灵敏性比硝化甘油本身小得多，但用一根装有雷汞的雷管点燃就能爆炸[9]。由3份硝化甘油和1份硅藻土组成的混合物，当时被称为达那炸药。阿贝耳和布朗（E. C. Brown）后来证明，对于那些干燥压缩的火棉，用一个雷帽或一根雷管也能引起爆炸。这些发明让高性能炸药的使用更为安全，炸药工业在全欧洲和美洲迅速开始扩展。

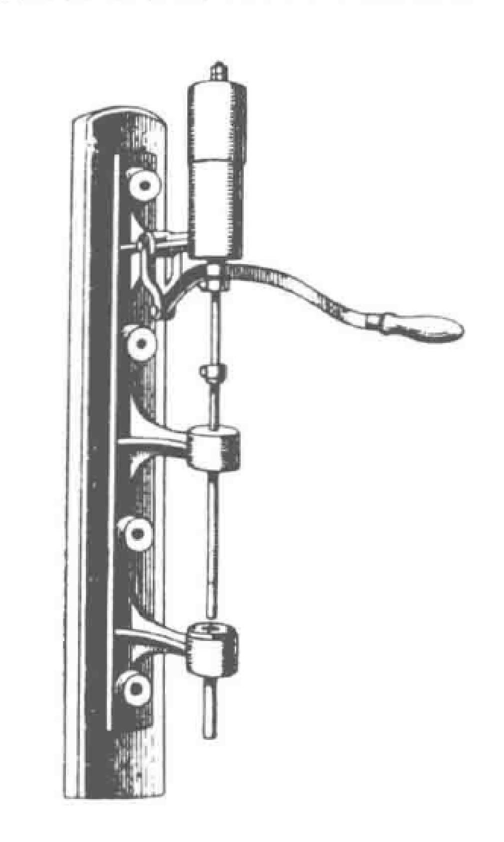


图150 达那炸药的装炸药包机器。

在制造达那炸药时，首先把硅藻土

293 与适量的硝化甘油大致混合，这些硝化甘油是直接从硝化甘油洗涤室的过滤器中取来的，然后把混合物输送到真正意义上的混合室，用手工进行彻底的混合，并用筛子筛上几次以保证混合均匀，再用相应的机器（图 150）把炸药装成炸药包。这种机器主要是一个柱塞，它在导向装置的控制下在一个圆管内工作，圆管内则塞有用一张包装纸卷成的下端封闭的纸圆筒。把规定重量的炸药一点一点地添加到圆管内，并用柱塞把它们向下压。当炸药添加完毕并压实后，就把炸药包从圆管内推出，将包装纸上端的开口折叠，炸药装料便被封闭起来。其他的粉状炸药也是类似地制作并封装成炸药包的，机械混合方法也逐渐引入。

1875 年，诺贝尔发明了爆胶，它是用 8% 的胶棉兑大约 92% 的硝化甘油进行胶化而制成的[10]。开始制造时困难较大，直到 1884 年采用了爆炸用可溶硝化棉（边码 292），爆胶才开始大规模生产。在爆胶的制造中，要对硝化棉进行干燥，直到它的含水量小于 1%，然后用筛子筛选，称出一定的量放在一个铜衬盒子内，再加进所需数量的硝化甘油。用手工把这些原料做初步混合，静置几个小时或一个夜晚后，把混合物送至混合室，在大约 50℃的温度下彻底完成混合。如果必要的话，可以添加少量甲基化酒精以加速胶化。起初，最后的混合也是手工操作，用的是木制搅拌器，但不久就引进了机械混合器，在阿迪尔使用的麦克罗伯茨（McRoberts）掺和机（图 151）就是一个例子。混合的时间通常约为 1 小时，此后便让炸药冷却变得硬一些。

装填炸药包时，通常先把爆胶通过一台机器，这台机器主要是一个在圆锥形腔室内工作的阿基米德螺旋。把炸药放入给料漏斗，同时转动手柄，螺旋就强迫炸药前进，并通过嘴口溢出，嘴口直径对应于所装炸药包的尺寸。溢出的物料按所需的长度和重量切断，然后用手工包装在一种炸药

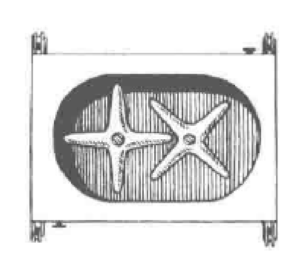


图 151 用于制造爆胶的麦克罗伯茨掺和机。

包纸中。这样的一种机器如图152所示。

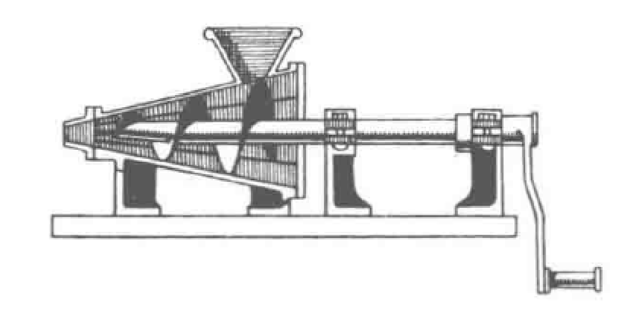


图152 用于凝胶炸药的装炸药包机器。

1871年，施普伦格尔（H. Sprengel，1834—1906）获得了一种新型炸药的专利。这种炸药把一种氧化剂（例如浓硝酸或氯酸钾）和一种燃烧剂（例如硝基苯、二硫化碳或汽油）在现场使用前进行混合，混合物则用一种雷管引爆[11]。这些炸药——特别是以氯酸钾为氧化剂的炸药——得到了相当广泛的采用，但所有类型都有许多缺点，既不安全又不可靠[1]。

13.6 发射药

1846年，舍恩拜因证明了他的火棉能够用作火炮的一种发射药，并且在发射时基本上不产生烟。后来，冯·伦克试图对火棉进行改造以用于轻武器，但试验没有成功。首次成功用于滑膛枪的硝化纤维炸药由舒尔策（Schultze）发明，他用硝化的木材制出的这种炸药[13]基本上也是无烟的。里德（Reid）和约翰逊（Johnson）（1882年）以及贾德森（Judson）和博兰（Borland）发明了用于轻武器的其他火药，但直到1886年维埃耶（P. M. E. Vieille，1854—1934）发明了火药*B*（*Poudre B*）、1887年诺贝尔发明了巴里斯太火药，现代发射药工业才真正建立起来。

维埃耶的火药*B*原先由大约68%的“不溶”火棉（含约13%的氮）、30%的“可溶”硝化棉（含约12%的氮）和2%的石蜡组成，

1　施普伦格尔炸药的另一种形式是由林德（Linde）发明的，其中用作氧化剂的先是液态空气、后来是液态氧；用作燃烧剂的，则是各种各样的含碳物质，诸如碳化的软木和面粉、石蜡、石油和各种类型的油。使用前，要立刻把含碳物质浸到液化气体中。如果用的是油，则要先把它们吸收在硅藻土中，再添加液化气体；如果用的是石蜡，则要在使石蜡保持液体状态的温度下把石蜡与硅藻土混合。这种类型的炸药，被称为“液氧炸药”，曾在1899年用于辛普朗隧道的开凿[12]。

采用乙酸乙酯进行胶化。它的成分历经多次改动，不过一种只由两种硝化纤维组成的混合物最终被采纳，它是用乙醚胶化的。接下来引进的措施是添加大约2%的戊醇，目的是改进稳定性。这一含量后来增加到8%，但最终被放弃了，代之以添加1%的二苯胺。起初，先是对这种硝化纤维混合物进行干燥，然后加进溶剂，掺和则在一个浅底的硬橡胶容器内进行。当采用乙醚做溶剂时，要对湿硝化纤维的混合物进行脱水，方法是用乙醇进行处理，并把多余的部分压出来。接下来，把压成的块状物打碎，在捏合机中与乙醚掺和，稳定剂在这一步骤加入。掺和完毕后，将捏成的面团状物通过轧辊形成薄片，这些薄片被放进一种干燥炉，在热空气的直接作用下，部分地得到干燥，在蒸汽加热的轧辊上再次经受滚压，进一步减小厚度并去除气泡。最后形成的薄片在切断机上被切成所需尺寸的小片，并在一种滚筒上用石墨上光。

295

诺贝尔发明的巴里斯太火药(ballistite)[14]原先主要是硝化甘油、胶棉和樟脑的混合物，其中的硝化纤维和硝化甘油一起形成一种硬质凝胶。最初的制造方法是将150份的胶棉与100份的硝化甘油、10—12份的樟脑以及约150份的苯混合，把所形成的混合物放在一台适当的设备中，以薄层的形式铺展开来，直到大部分苯挥发掉，然后在大约50℃的温度下滚压成薄片，并切成所需尺寸的小片。后来，樟脑被放弃使用了，因为它的挥发性会导致炸药在保存期间发生性质上的变化。这样一来，制造的方法也有所改变，让硝化棉悬浮在热水中，添加适当量的硝化甘油，然后搅拌，通常是用压缩空气进行搅拌。由此得到的炸药通过压榨的方法去水，然后在50℃—60℃的温度下在蒸汽加热的轧辊之间通过，硝化棉全部溶解，水分不是被机械的方法去除就是被蒸发的方法去除，由此获得的薄片如同上面所述那样被切成小片[15]。

柯达无烟药(cordite，又称无烟线状火药)是阿贝耳和杜瓦(J. Dewar)发明的，它是为克服巴里斯太火药的缺点进行的研究形成的

一项成果。这种炸药是一种含37%高含氮量的“不溶”火棉和58%用丙酮胶化的硝化甘油的混合物，另加5%的凡士林作为稳定剂[16]。在制造中，干火棉按规定重量放入一个个铜衬木盒内，再送到硝化甘油称量室加入适量的硝化甘油，并把每个盒子里的物料进行彻底混合。这种混合物（在这一阶段被称为无烟线状火药浆）被输送到掺和室的捏合机中，加入适量的丙酮，捏合3.5个小时，然后加入凡士林，继续捏合3.5个小时，在捏合的过程中，丙酮逐渐地溶解了其中所有的成分，产生了一个均匀的面团状物，穿过压制机中的压模，以形成不同直径的细丝（图153），通常把较细的丝缠在圆筒上，较粗的丝则用机器切成合宜的长度。接下来，把它们移送到干燥炉中，在大约38℃的温度下进行干燥，干燥时间则按它们不同的尺寸而各有不同。

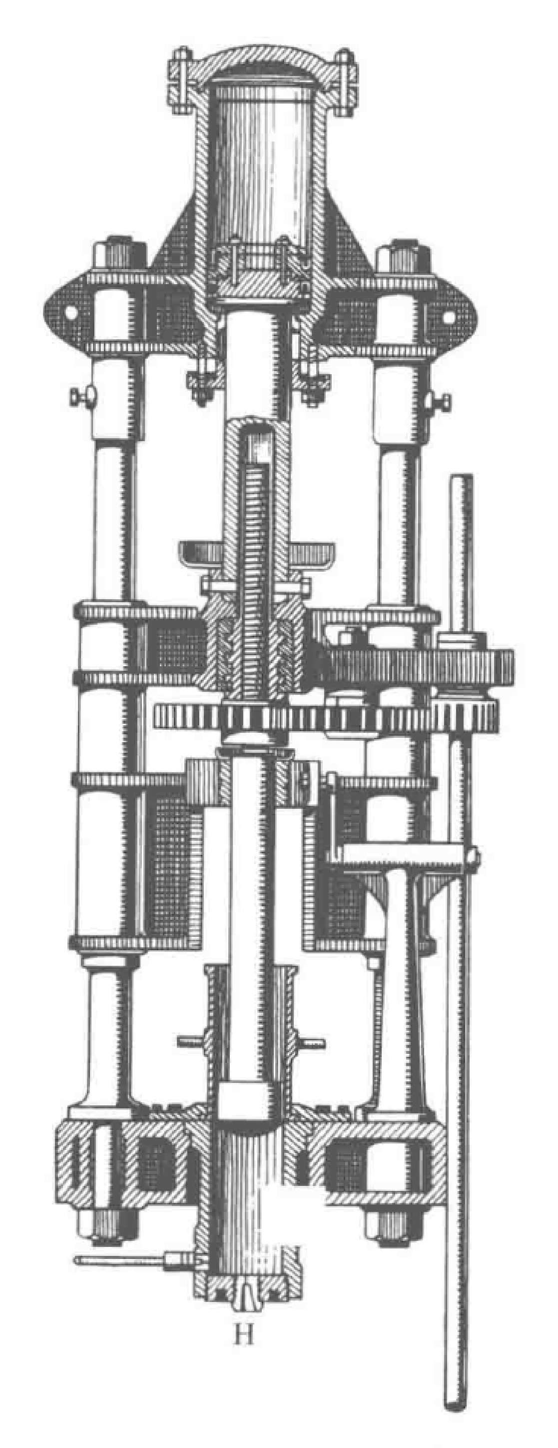


图153　柯达无烟药压制机（立视图）。火药丝通过压制机底部的压模H压出。

与那些用于步枪和大炮的火药相比，用于猎枪的火药燃烧更快，一般

296

是把湿的硝化棉与硝酸钡、硝酸钾和其他材料混合，干燥成颗粒状后，在一个转动的圆筒中用一种溶剂（通常是乙醚）进行处理，最后进行干燥以便让颗粒硬化。有些火药的制作是先形成完全凝胶化的颗粒，其中含有较大比例的硝酸钡或硝酸钾，然后通过把火药在水中浸泡的

方法使这些盐部分地溶解出来，从而形成多孔的颗粒。

13.7 苦味酸

1771年，沃尔夫首先发现了苦味酸。1788年，豪斯曼在用硝酸处理靛蓝时，重新发现了它。苦味酸起初只是作为一种染料而被应用，但当1886年蒂尔潘（Turpin）证明它能被引爆后，它先是作为一种粉末后是以浇注的方式用于装填炮弹，在法国被称为麦宁炸药（*mélinite*）[1]，在英国则被称为立德炸药（lyddite）[2]。它的制造方法是把1份结晶的石炭酸（苯酚）和1份浓硫酸在100℃—120℃的温度下加以处理，然后使混合物冷却，并用大约2倍体积的水加以稀释，在所得到的溶液中添加3份硝酸（比重为1.4）。当反应完成时，让混合物冷却，用离心机把苦味酸结晶体分离出来，并用水洗涤。产品的纯化是通过在热水中再结晶而获得的。

13.8 雷汞和雷管

如前所述（边码285），雷汞是在1800年由霍华德制备成纯态的[3]，但它只是相对少量地用在发火帽中，直到人们发现如果用一根装有雷酸盐的雷管来作为爆炸过程的引发物，就能使硝化甘油和火棉产生强烈的爆炸。制备雷汞的方法是先把汞溶解在硝酸（比重为1.4）中，然后把溶液加到装有90%浓度酒精的适当容器中，强烈反应，释放出汞蒸气，在通过一系列盛满水的吸收容器时被收集。当雷汞结晶出来后，对混合溶液进行过滤，并把结晶物用水洗涤，直至洗涤水不再呈酸性为止。由于这种干物料对震动很灵敏，每次只能制造出很小的批量，产品在使用之前还要一直保持潮湿。

297

雷帽和雷管的主要成分是雷汞，其中添加了氯酸钾、硫化锑和其

1　这来自它的颜色榅桲黄（希腊文作 *mēlinos*）。

2　这是由于首次试验是在肯特郡的利德（Lydd）进行的。

3　早在1700年，孔克尔（Kunckel）就已获得不纯的样品。

他材料，包括磨细的玻璃，以增加对震动和火焰的灵敏性。在最早阶段的制造中，雷帽和雷管的装药和压制是单独进行的。后来，随着需求量的增长，开发出了一次能装药和压制达100个雷管的机器，这些工作是在封闭的房间内通过遥控完成的。

相关文献

[1] Schönbein, C. F. *Arch. Sci. phys. nat.*, 7, 26, 1846.
[2] Pelouze, T. J. *C. R. Acad. Sci.*, *Paris*, 7, 713, 1838.
[3] Braconnot, H. *Ann. Chim.* (*Phys.*), 52, 290, 1833.
[4] British Patent No. 11407. 1846.
[5] Sobrero, A. *Mem. R. Accad. Torino*, 10, 195–202, 1844.
[6] Howard, E. *Phil. Trans.*, 90, 204–38, 1800.
[7] Crum, W. *Proc. phil. Soc. Glasg.*, 2, 163, 1847.
[8] Abel, F. A. *Phil. Trans.*, 156, 269, 1866 ; 157, 181, 1867.
[9] British Patent No. 1234. 1867.
[10] British Patent No. 4179. 1875.
[11] British Patents Nos 921 and 2642. 1871. Sprengel, H. *J. chem. Soc.*, 26, 796, 1873.
[12] German Patent No. 100 146. 1887.
[13] British Patent No. 900. 1864.
[14] French Patents No. 185179, 1887 ; and No. 199091, 1889.British Patent No, 1471. 1889.
[15] British Patent No. 10376. 1889.
[16] British Patents Nos 5614 and 11664. 1889.

参考书目

Böckmann, F. 'Die explosiven Stoffe.' Vienna. 1880.
Brunswig, H. 'Die Explosivstoffe.' Göschen, Leipzig. 1907.
Chalon, P. F. 'Traité théorique et pratique des explosifs modernes et dictionnaire des poudres et explosifs.' Paris. 1889.
298
'Coton-poudre, nitroglycérine et dynamites.' Conférence de M. Pellet, École Centrale des Arts et Manufactures. Paris. 1881.
Dumas-Guilin, M. 'La dynamite de guerre et le coton-poudre.' Paris, Limoges. 1887.
Eissler, M. 'A Handbook of Modern Explosives.' London. 1890.
Escales, R. 'Die Explosivstoffe', Pts 1–8. Fock, Leipzig. 1904–17.
Gody, L. 'Traité théorique et pratique des matières explosives.' Namur. 1896.
Guttmann, O. 'The Manufacture of Explosives.' London. 1895.
Idem. 'The Manufacture of Explosives. Twenty Years Progress.' Whittaker, London. 1909.
'Imperial Chemical Industries and its Founding Companies', Vol. 1: 'The History of Nobel' s Explosives Co. Ltd. and Nobel Industries Ltd., 1871–1926.' Imperial Chemical Industries, London. 1938.
Knoll, R. 'Das Knallquecksilber und ähnliche Sprengstoffe.' Hartleben Vienna. 1908.
Macdonald, G. W. 'Historical Papers on Modern Explosives.' Whittaker, London. 1912.
Mardel, L. 'Pólvoras, Explosivos Modernos e suas Applicações.' Lisbon. 1893.
Marshall, A. 'Explosives.' Churchill, London. 1917.
Meyer, E. von. 'Die Explosivkörper und die Feuerwerkerei.' Brunswick. 1874.
Miles, F. D. 'Cellulose Nitrate.' Oliver & Boyd, London. 1955.
Molinari, E. and Quartieri, F. 'Notices sur les explosifs en Italie.' Società Italiana Prodotti Esplodenli, Milan. 1913.
Nobel, A. 'On Modern Blasting Agents.' *J. Soc. Arts*, 23, 611, 1875.
'Report from the Select Committee on Explosive Substances 26th June, 1904.' H. M. Stationery Office, London. 1904.
'Report on the Thirty-third Meeting of the British Association for the Advancement of Science, 1863.' London.1863.

Romocki, S. J. von. 'Geschichte der Explosivstoffe', Vols 1, 2. Berlin. 1895.

'The Rise and Progress of the British Explosives Industry.' Published under the auspices of the VIIth International Congress of Applied Chemistry, Explosives Section. Whittaker, London, New York. 1909.

'Treatise on Service Explosives.' London. 1895.

Upmann, J. 'Schießpulver, dessen Geschichte, Fabrikation, Eigenschaften und Proben.' Brunswick. 1874.

Worden, E. C. 'Nitrocellulose Industry.' Constable, London. 1911.



在苏格兰韦斯特夸特 (Westquarter) 的雷汞制造过程中的一个步骤，约 1890 年。

第14章　精细化工产品

阿瑟·W. 斯莱特（ARTHUR W. SLATER）

299

14.1　一般性考察

人们对精细化工产品和重化工产品之间的区别很容易了解，但是很难定义。一般来说，精细化工产品是那些单位价值高，以相对较小的数量生产，纯度高，或者满足这些条件中的一个或多个的化工产品[1]。精细化工产品往往具有比重化工产品更复杂的分子结构，但这不是一个绝对可靠的判断依据。有些精细化工产品是物质的高纯形态，而这种物质在粗制状态时却是重化工产品。

就像前面各卷所述的那样，许多精细化工产品虽然在很早以前就已经制造出来，但它们在任何意义上的大规模生产都始于18世纪的最后10年。这十年以及19世纪上半叶，大多数产品是为了满足人们对迅速发展的纺织工业所用的媒染剂和其他辅助剂的需求，以及对制药业所用的奎宁、硼砂、樟脑和乙醚等医药原材料的需求。进入19世纪下半叶，精细化工产品的生产技术有了巨大的进步。

英国工业的急剧发展和西欧、美国的迅速崛起，产生了对工业化工产品的新的广泛需求。当然，重化工产品的产量增长最为明显，但精细化工产品的产量的增长也值得注意。人们需要设计出新的方法，以便在工业规模上生产出那些原来在实验室里才能见到的化学品。

与此同时，化学家们研制出来的合成化合物的数目也有了令人惊

异的增长。它们有的是天然物质的合成形态，有的则是自然界中根本不存在的全新的化合物。这些新的合成化合物中，有许多是煤焦油的衍生物。煤焦油是煤气制造中的一种副产品，以前被认为是一种令人讨厌和为难的东西，现在却显然成了无穷无尽的一系列化合物的一个来源。通过蒸馏煤焦油，可以获得苯、甲苯、萘、蒽和苯酚（“石炭酸”）。作为对珀金（Perkin）于1856年发现苯胺紫的一种继续，从这些衍生物中又获得了一整套全新的令人眼花缭乱的染料（第12章）。此外，煤焦油还可以合成香料——香豆素是一个早期的例子，形成由苯酚或甲酚衍生的防腐剂，生成糖精和其他天然产品的代替品，以及药物——例如水杨酸。

300

在某种程度上，有机化学的这些发展反映了当时理论化学的发展，也反映出人们对化学反应进行了大量深入的经验性实验室研究，这些研究本身就给高纯度无机和有机化合物的制造以巨大的刺激。无论是用于大多数实验室工作还是用作分析试剂的化合物，这种高纯度都十分必要。对于非常纯的化工品的进一步需求则来自摄影业，尤其在采用干片工艺之后（第30章）。这个时期刚开始时，由于多种麻醉剂的采用，人们不断要求增加氯仿和乙醚的供应，它们都是由发酵工业的一种产品乙醇制成的。1865年，利斯特（Lister）发现了苯酚的防腐性能，这导致人们增加了以粗石炭酸为原料的纯苯酚的生产，粗石炭酸则是从煤焦油中获得的。

化学工程的改进支持了精细化学工业的扩展。所有化工制造的基本方法——溶解、过滤、蒸发、蒸馏和结晶——在本质上都是很简单的，其中有许多曾经是并且继续是用十分简单的装置进行。产量不多的时候，这样的装置通常是适宜的。但是，随着生产规模的扩大，安装较复杂的装置和采用机械化辅助设备就成为必然。

当在任何相当大的规模上安装设备以制造精细化工产品时，必须考虑两个重要的问题。首先，一种完全适合于实验室的方法，由于技

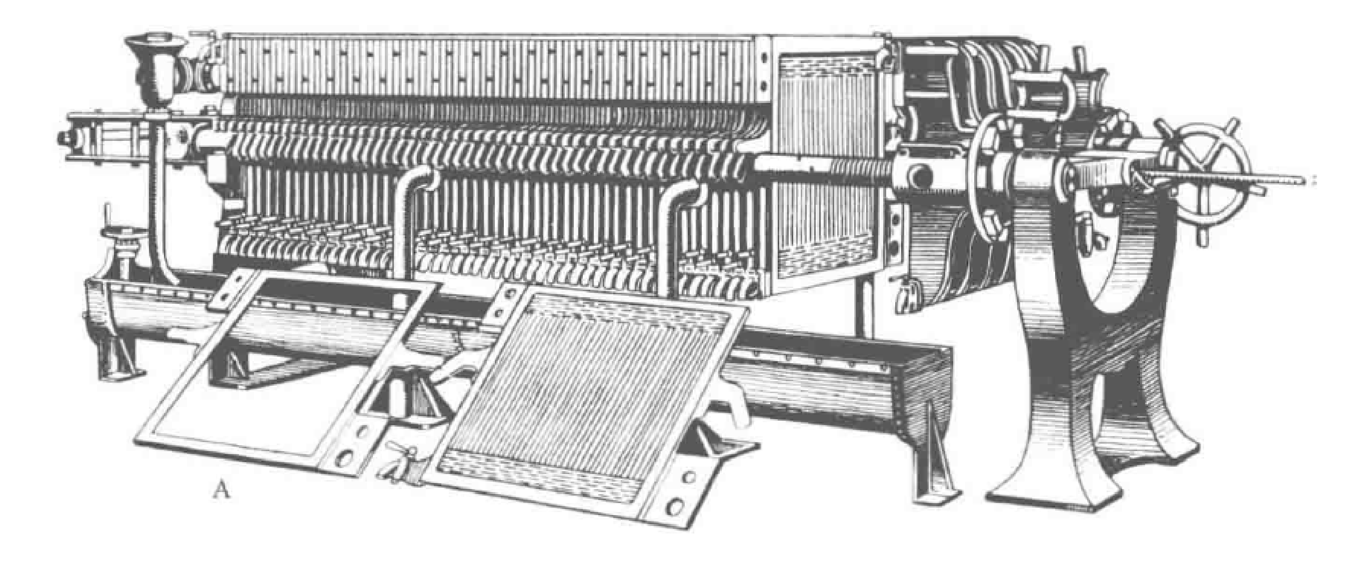


图 154　德内 (Dehne) 的压滤机，19 世纪晚期。

术上的困难，可能被证明在这个生产规模上完全不实用。例如，实验室中的蒸馏通常在玻璃仪器内进行，而在大规模生产的情况下，可能就必须采用金属蒸馏器和冷凝器，这样就导致了这些设备被所用化工品腐蚀以及随之而来的最终产品被污染的风险。其次，必须考虑到经济因素。这一点在 19 世纪后半叶特别重要，因为当时精细化工产品的贸易掌握在许多彼此激烈竞争的小商行手中。

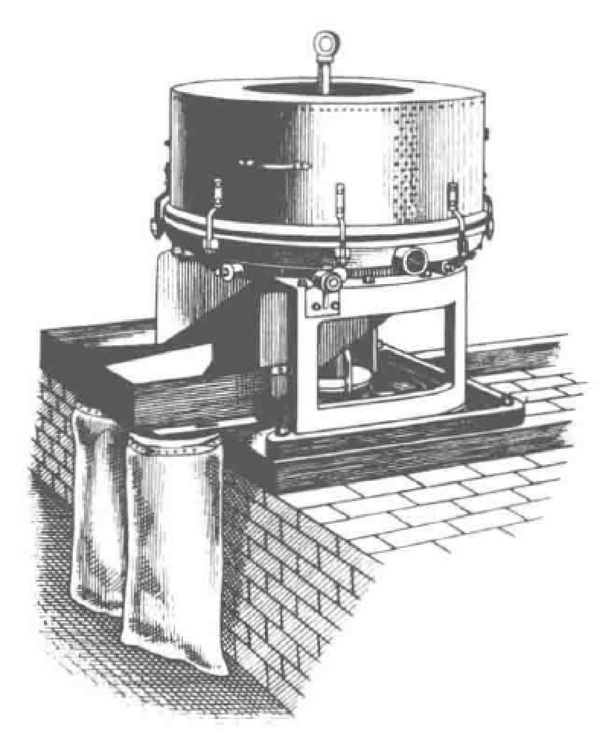


图 155　从液体中分离出固体的离心机。在这种类型的离心机中，固体物质被排放在底部的袋子中。

301

化学工业通常是越来越多地使用压滤机（图 154）、离心机（脱水器）（图 155）、渗析器和真空锅之类的辅助设备来进行生产。在制造多为液体的精细化工产品时，蒸馏设备的改进尤为重要。

当需要时，动力可由各种各样的能源提供。在兰开夏郡，甚至到 19 世纪 80 年代，几乎每一家漂白剂工厂都有一台水车或一台水轮机。而在美国，化学工厂

普遍使用水力。在伦敦，一家著名的由一些精细化工品制造商开办的商行，直到1901年还在用一台水车来研磨化工品，这当然是一种特殊情况，因为这台水车最初建于13世纪，这些合伙者则对传统怀有一种真诚的敬意[1]。蒸汽在许多方面都需要用到，例如用来加热蒸馏器，往复式蒸汽机则是最重要的动力源。到19世纪末期，其他原动机——汽轮机、燃气机、柴油机和电动机——也被用到化学工业上（第6章、第7章、第8章）。

精细化工产品包罗甚广，从技术上看太过复杂，不易分类。但是，根据制造它们的方法或者需要用到它们的领域，还是能够方便地进行分类的。例如，我们可以区分出由发酵工业生产出来的化工品——主要是乙醇，通过分解蒸馏或其他方法从木材中制取的化工品麻醉剂、防腐剂和其他在医药领域需要用到的化学物质，香精油，具有特殊用途和一般用途的一整套精细化工产品——例如摄影用化工品、溶剂和分析试剂。然而，这些类别无论如何也不是相互排斥的，许多重要的化工品可以分到多种类别中。例如，乙醇是一种有价值的工业溶剂，能够作为制造几百种有机化合物的基础，在制药业中也有许多应用。在本章中，尽可能把化工品归在其中一种具有特殊重要性的类别中，其余的则做个别处理。

302

14.2 发酵工业

虽然自远古以来发酵方法一直在使用，现代发酵工业的基础却是在19世纪中叶由法国化学家巴斯德（Louis Pasteur，1822—1895）奠定的。他清楚地证明，如同德国植物学家库金（F. T. Kützing，1807—1893）曾经假设的那样，发酵是源于微小的活有机体——例如酵母——的作用，这些活有机体无时无刻不存在于大气中，一旦条件

1　这家磨坊位于斯特拉特福。18世纪末期，它被租给一家麦芽制造商行，后者于1806年把它卖给这家化工品制造商行。

有利就会极其迅速地成倍繁殖。它们含有各种各样的酶或称“酵素”，每一种酶都以一种特殊的方式起作用并生成不同的产物，例如乳酸、醋酸和酒精。包括1897年布赫纳（E. Buchner，1860—1917）的那些研究在内，后来的研究证明活酵母细胞对于发酵并不是必需的，一种适当制备的萃取物会起到同样的作用，因为真正的发酵剂并不是酵母细胞整体，而是含在其中的酿酶。

酒精的发酵依靠了这样一个事实，酿酶能够把糖转化为乙醇（C_2H_5OH）。淀粉原料必须首先转化为糖，这个过程的第一阶段是产生麦芽，方法是把大麦浸泡在水中并保持在湿润的空气中，直到开始发芽。大麦出麦芽时会产生一种活性酶——淀粉酶，它具有把淀粉转化为糖的能力。然后，在要发酵的原料中加入一定量的水，捣成糊状，水的含量通常在5%左右，温度大约在140°F—150°F。在糊化的过程中，淀粉被淀粉酶转化为一种被称为麦芽汁的混合物，它可以用酵母发酵。使麦芽汁冷却，加进酵母，发酵就开始了，麦芽汁中的糖被转化成乙醇和二氧化碳。发酵要进行得尽可能彻底，以生产出最大数量的乙醇。接下来，对已发酵的麦芽汁（也称为酒醅或发酵醪）进行蒸馏，把乙醇从水中分离出来，生成的酒精可以通过再蒸馏而进一步提纯。

303

用这种方法获得的酒精的确切性质，随用作淀粉源或糖源的原料而变化。在各个历史时期，各地的人们都显示出把各种果实转化为饮料酒的极高才能，可见发酵的原料是很多的。例如，白兰地通过蒸馏葡萄酒从葡萄中获得，威士忌用蒸馏法从发芽大麦中制取。不过，杜松子酒是一种半合成产物，它是将酒精再蒸馏并加上适当的调味香精而制成的。

在我们考察的这段时期中，由于两项重大的改革，用于消费和用于制造业的乙醇的工业生产得到了很大的增长。一个是巴斯德对发酵过程一般性质的研究，以及在1870年至1880年期间，汉森（E. C.

Hansen）在哥本哈根进行的关于各种酵母菌株特性的研究，使得制造商们能把酒精的单位原料产量大大提高。另一个是科菲（Coffey）蒸馏器（边码 306）的发明，提供了一种通过连续蒸馏而制造高浓度酒精的方法。

在不同的国家，用于酒精发酵的原料各不相同。英国的酿酒厂喜欢用未加工谷物和发芽谷物（通常是大麦或玉米）的一种混合物制造谷物酒精，后来又普遍用糖蜜。在法国，则用糖甜菜和糖甜菜糖蜜。在德国，马铃薯是主要的原料，但也用糖甜菜。

当所用原料是谷物时，第一步是把谷物中的淀粉成分糖化，因此先要把谷物粉碎，但并不是磨成细粉状，除非用的是玉米。可以通过促使发芽的方法将全部谷物制成麦芽，不过大多数酿酒厂用的经粉碎的未加工谷物和发芽谷物的一种混合物，其比例在 6∶1 和 10∶1 之间。将这种混合物放入糖化桶，加进一点点温水，用机械搅拌器进行混合，通入热水或蒸汽使它保温 1—4 个小时，这是为了把全部淀粉转化为可用酵母直接发酵的麦芽糖。所保持的温度应略低于 146°F，如果达到 146°F，麦芽糖的产量就开始下降。接下来，排出麦芽汁，把约为 190°F 的新鲜热水注入糖化桶，浸泡桶内的残渣一两个小时，于是得到第二道麦芽汁，并添加到第一道麦芽汁中。通常情况下，可以采用同样方式获得第三道麦芽汁。

304

当用的是马铃薯时，所需的麦芽要少一些，因为马铃薯的淀粉含量比谷物低。为了使淀粉处于麦芽中淀粉酶的作用之下，必须将马铃薯加热以使其细胞破裂，这在过去是通过蒸煮马铃薯做到的。蒸煮在高而狭窄的密封（除了有一个让蒸汽和凝结水排出的阀门）圆筒内进行，变软的马铃薯被用轧辊碾碎，再放入糖化桶与麦芽一起搅拌。这个方法的缺点是有些细胞膜没有破裂，使一定数量的淀粉没有被淀粉酶作用，产量相应有所降低。

霍利弗罗因德（Hollefreund）的方法实现了酒精生产的一次重大改

进，这个方法是在一个坚固的铁圆筒内在非常高的压力下用蒸汽处理马铃薯。铁圆筒通过一根管子连接到一台锅炉，通过另一根管道连接到一台气泵。通入蒸汽，用搅拌器搅拌马铃薯，时间大约为20分钟，然后关闭蒸汽，接通气泵。这样产生的外部低气压会导致细胞膜爆裂，同时这团原料被冷却，使温度降到合适的糖化温度。于是，当麦芽放进这个圆筒时，最大数量的淀粉便处在淀粉酶的作用之下，随后搅拌器再次启动进行搅拌。这一过程中，蒸煮、碎裂和糖化都是在同一个容器内进行的。

对谷物或马铃薯的糖化完成后，将麦芽汁冷却，加入酵母，发酵即开始。这一过程在细节上根据麦芽糊的类型而有所不同，发酵时间为3—9天。

当像法国那样用的是糖甜菜时，采用去皮压榨或切片浸渍的方法提取出甜菜汁，用前一种方法可以产出较好的酒精。然后，用硫酸将甜菜汁稍稍酸化，加入少量的啤酒酵母。19世纪中叶刚过即发明的迪布兰福（Leplay Dubrunfaut）法是将甜菜根切片装袋，浸泡在发酵缸内，糖就在这些甜菜根切片中发酵，然后对这些饱含酒精的切片进行蒸馏。

从糖甜菜中获得的糖蜜，在法国、德国、乌克兰和其他大陆国家中大量取用。在英国，糖甜菜则直到1920年才正式种植。将浓糖蜜与水混合，加入硫酸以中和里面的石灰或碱，并把糖转化为一种可发酵的形式，然后加入酵母，发酵便开始很快地进行。

305

蒸馏器的设计种类繁多，从极简单的装置到复杂的蒸馏器，以及设计用一种连续的操作从粗发酵产品中取得最浓酒精的精馏器。人们所使用的各种设计产品的数目过于庞大，这里难以一一叙述，但可以区分出三种主要形式。第一种是简单的立式蒸馏釜，直接用火加热；第二种是密封的或精馏类型的蒸馏器，装有一个酒醅加温器；第三种是装有酒醅加温器、精馏和分馏设备的蒸馏器，可以用于间歇或连续

作业。

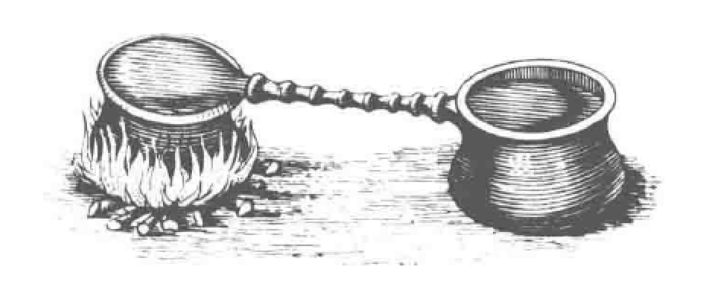


图156 用于制亚力酒的原始僧伽罗蒸馏器。基于这个原理的类似蒸馏器在19世纪被广泛用于制取酒精饮料。

在整个19世纪，第一种类型的简单蒸馏器到处都在使用，它们在原理上与锡兰人制造亚力酒所用的粗陶蒸馏器（图156）没有什么不同。在非法的威士忌酿造已经达到工业规模的爱尔兰，有一种受欢迎的私酿威士忌就是用这种最粗糙的设备生产出来的。酿酒厂通常是一间茅草屋顶农舍，屋子的一端是一个壁炉，屋顶上的一个洞是烟囱。由一些大石头构成一个半圆弧，把一个40加仑的镀锡容器支在炉火上，这就是酒醅加热器和蒸馏器的联合体。蒸馏器的顶上是一个侧面有一根管子的大镀锡罐，它被倒扣在蒸馏器上，并用由燕麦片和水做成的糨糊封住，酒精经过铜制螺旋管形式的冷凝器流入承受器。

在合法的苏格兰威士忌酿造厂，人们使用简单的0.6—1.2万加仑容量的平底立式蒸馏釜。它们装有搅拌器，以防止酒醅中的固体物质沉淀在蒸馏釜底上而结焦。这些蒸馏釜生产一种高级酒精，却极端浪费燃料，而且蒸馏速度虽然很快，但只能通过重复蒸馏来获得高浓度酒精。

在第二种类型的蒸馏器中，在蒸馏器和冷凝器之间设有一个酒醅加温器，即一种盛满待蒸馏液体的容器。将热蒸汽从蒸馏器通入冷凝器的管道经过，从而加热其中的酒醅，它在进入蒸馏器时就已经是热的了。在主要用于德国小酿酒厂的多恩（Dorn）蒸馏器中，人们做了进一步的改进，在蒸馏器和冷凝器之间设有一个容器，这个容器被一张铜膜分成上下两个间隔。上部间隔用作酒醅加温器，将蒸汽从蒸馏器引出的那根管道穿过上部间隔而进入下部间隔，在那里首先凝结出馏出液。在酒醅加温时，馏出液就放出乙醇蒸气，蒸

306

汽继续前进，并在一根螺旋管中凝成液体，其中的含水馏分可以通过一根侧管流回蒸馏器。在蒸馏器和冷凝器之间装上两个或更多个这样的容器，这种精馏作用就能被加强，使人们得到一种乙醇含量更高的馏出液。

在第三种类型的蒸馏器中，分馏是在早已确立的分凝过程中实现的，这个过程在于通过与金属膜接触来冷却蒸汽。含有最多水分的部分被凝结并分离出来，富含乙醇的蒸汽则向精馏器或冷凝器继续前进。

由科菲（Aeneas Coffey）在1830年前后发明的科菲蒸馏器（图157），被认为是通过一次性操作从谷物酒醅中制取极高浓度酒精

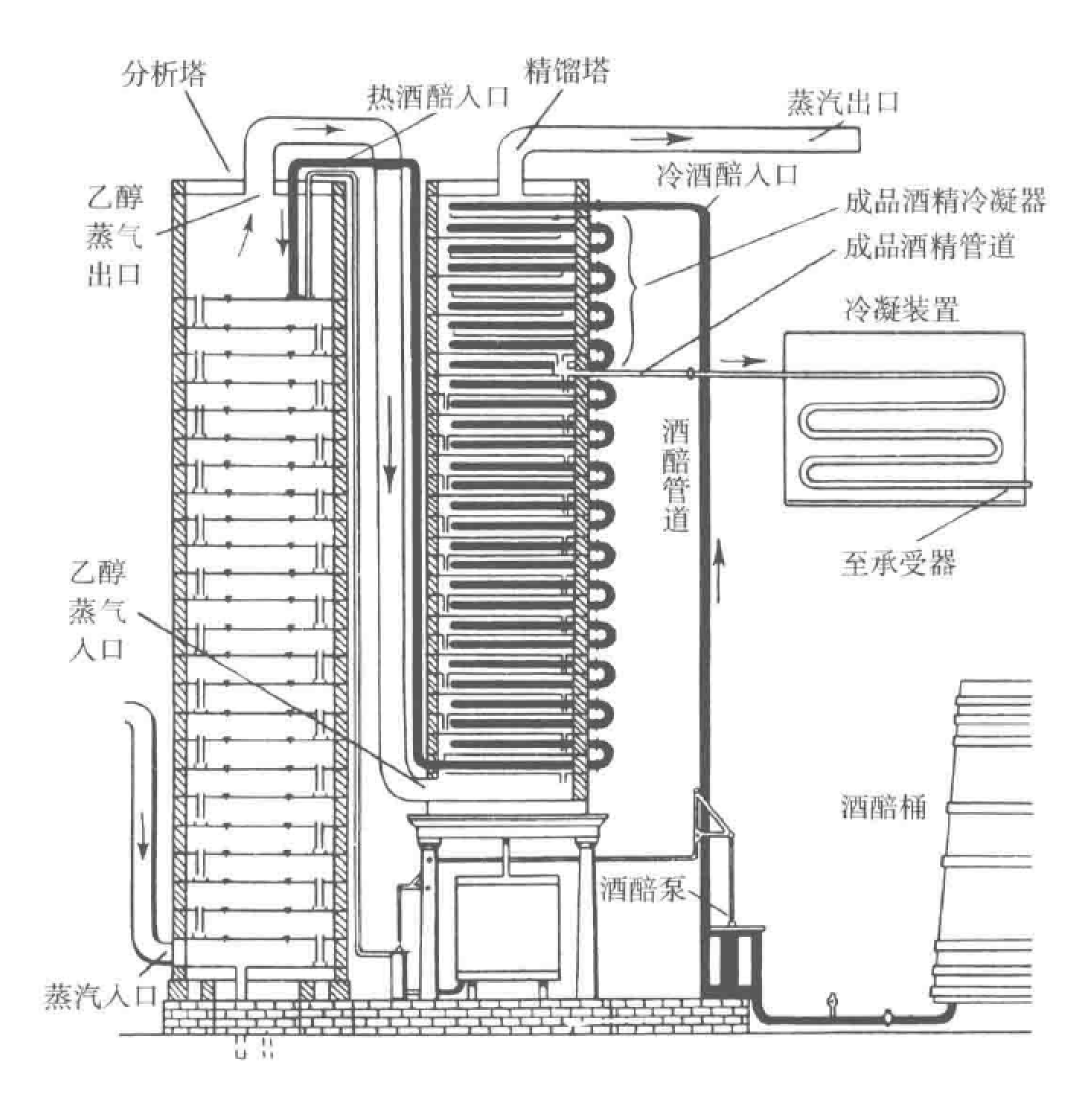


图157　于1830年前后发明的科菲蒸馏器，在19世纪的其余年代一直被用来制备浓酒精。

的最佳、最经济的装置。然而，它不大适于制取麦芽威士忌，因为威士忌的味道取决于保留在馏出液中的某些挥发性酒醅成分。用科菲蒸馏器生产出的酒精含有 86%—95% 的乙醇，还有大约 0.4% 的高级醇和有关杂质（统称为杂醇油[1]），以及少量的乙醛。在这种设备中，蒸汽与酒醅相向流动。酒醅用泵抽运，经过精馏塔中的曲折管道（图中显示了其剖面），在这一过程中被上升的蒸汽加热。注入分析塔后，酒醅通过滴液管从一层隔板落到另一层隔板。

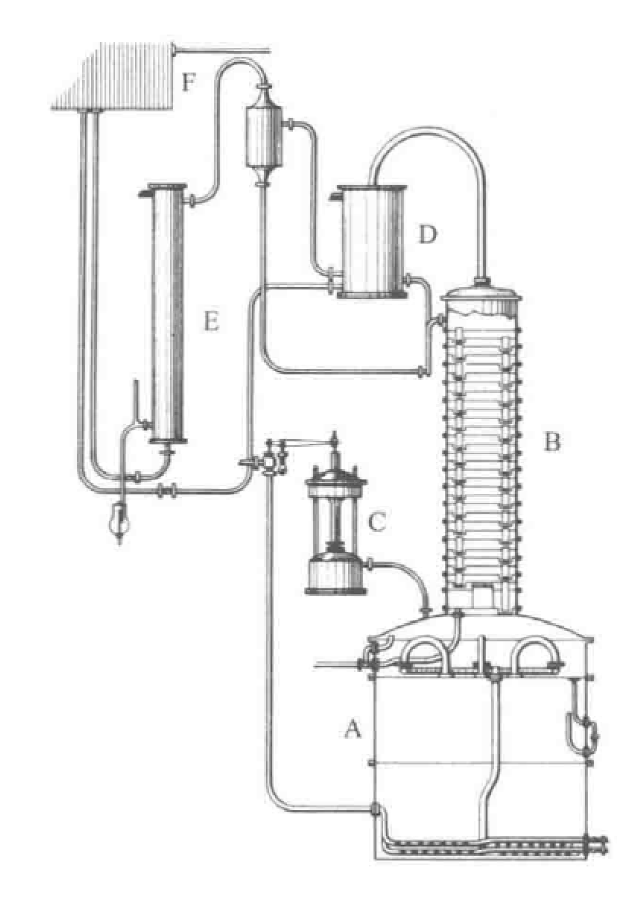


图 158　用于浓缩乙醇的具有精馏塔的萨瓦勒蒸馏器。（A）用蒸汽螺旋管加热的蒸馏器；（B）精馏塔；（C）蒸汽调节器；（D）（E）冷凝器；（F）冷水箱。

在这个下降过程中，酒醅中的乙醇经过隔板上的孔眼，在分析塔内被上升的蒸汽带走。于是，含乙醇的蒸汽进入精馏塔，与运送冷酒醅的管道相接触，大多数乙醇在塔的上部就被凝结出来，接着流入承受器。

用于医药业以及许多工业领域的乙醇，是通过进一步提纯而从酒精中制备出来的。把这种酒精与等量的水混合，经木炭过滤，使其中的杂醇油氧化，然后在一种萨瓦勒（Savalle）型柱状蒸馏器（图 158）中精馏。从精馏器出来的第一道馏分是不纯的，但是能够用于燃烧或用于有点杂质无关紧要的制造过程。第二道馏分中已经没有杂醇油，能够被大量地用于医药领域，提取香精油及制造其他有机化工品。“无水的”或 100% 的乙醇，是用生石灰和重蒸馏方法对第二道馏分

1　“杂醇油”（fusel）一词来自德语 *fuseln*，意为“粗糙地工作”；试比较来自同一词源的 foozle（笨拙地做）。

进行脱水而制得的。

许多国家对酒精饮料课以重税，严重地限制了它们在工业上的应用。1855年，英国税务部批准了用于制造业的免税酒精的销售，条件是用甲醇变性，使之不能饮用，这种产品被称为甲基化酒精。在其他国家，也做了类似的让步。

308

发酵工业的副产品之一是酒石酸。它是从粗酒石中制取的，后者是一种含酒石酸氢钾的原料，在发酵葡萄酒的时候沉积在容器的周边。将粗酒石与白垩一起煮沸，形成不溶的酒石酸钙。把酒石酸钙过滤出来，经洗涤后与稀硫酸一起加热，这样就形成了不溶的硫酸钙和一种酒石酸溶液。把这种溶液放在真空锅内蒸发至干，就获得了纯酒石酸，它可以在染色中用作媒染剂，可以用于制造泡腾盐和焙粉，也可以用于医药业。

14.3 从木材中提取的化学品

醋是通过葡萄酒、苹果酒、麦芽和其他类似原料的进一步发酵而制得的，醋酸则是将木材与空气隔绝干馏而获得。这一过程会产生焦木酸，它主要由醋酸和甲醇(木醇)组成，一起产生的还有烯丙醇、丙酮和许多其他化学品，以及大量焦油状物质，木炭则遗留在干馏器中。

干馏在各种类型的干馏甑内进行。人们发现，在连续进行干馏的大工厂中，把许多分立的干馏甑连到一个凝结装置，并用同一烟道系统加热，可以带来方便，让人们取出个别干馏甑并重新装料时不会中断生产。

开始时干馏甑慢慢加热，以便获得最大产量的低温产品醋酸和甲醇，然后温度升高，直至气体大量地逸出。在这个阶段的末期，要进一步强化加热以驱使高温产品彻底排出。通常用过热蒸汽加热，因为它能让人们准确地控制热的使用。这个方法主要为制造用于火药的木炭的工厂所采用。让馏出液静置，不久即分离成两层，下层是一种黏

稠的黑焦油，上层是粗焦木酸，量要多得多。液体生成物的产量不仅受干馏温度的影响，而且受所用木材品种的影响。落叶树一般能比针叶树给出更多的酸，但后者能产出更多的焦油。甲醇的产量在干木材重量的 0.5%—1% 的范围内变化。

从锯屑和鞣皮厂用过的树皮这类材料中，焦木酸也可以用哈利戴（Halliday）的装置（图 159）制取。这种装置主要是一个水平的圆筒形干馏甑，其中有一根螺旋杆在旋转。要热解的材料通过一根竖直的管道加入，在螺旋杆的作用下沿着干馏甑的长度方向始终以一个不变的速度运动。在干馏甑的较远端，干馏生成物通过一根向上的管道进入冷凝器，粉末状的木炭则落到水中，急速冷却。如果锯屑在普通的干馏甑中干馏，它们会逐渐被覆上一层阻碍热传导的碳质硬壳。

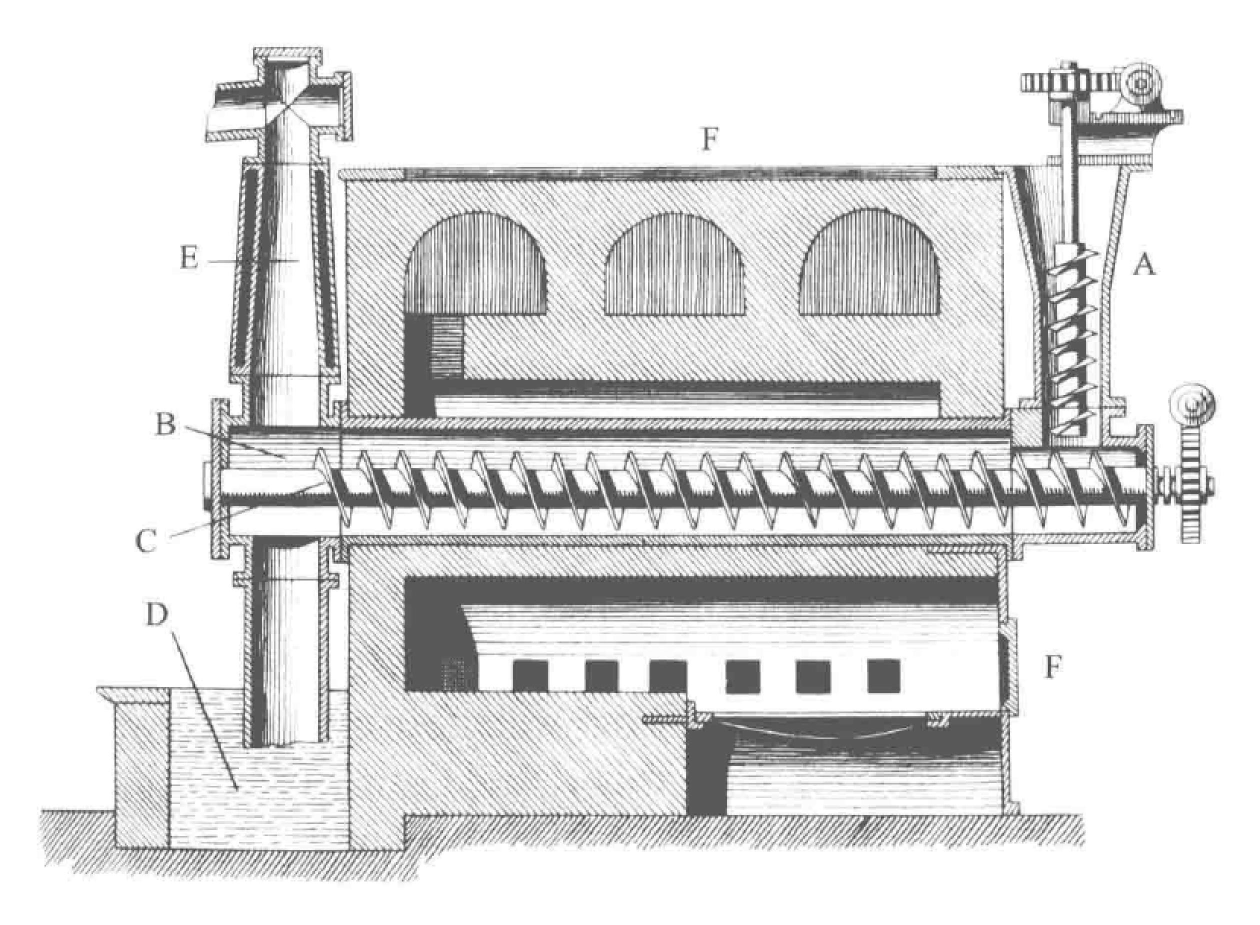


图 159　通过锯屑、鞣皮用过的树皮或其他植物废料的热解制备焦木酸的哈利戴装置。
（A）给料漏斗；（B）圆筒形干馏甑；（C）旋转着的螺旋杆；（D）水池；（E）通向冷凝器的出口；（F）炉子。

弗里（Fry）的方法（1869 年）主要是用蒸汽蒸馏木材，提取所要的产品，但不会将木材碳化，使得它们还能用于造纸。木材被切成小片装在锌制或铜制的笼子内，放到一个汽锅中，然后在锅中注入水，在每平方英寸 70—100 磅的压强下，用一种蒸汽加热套加热 3—5 个小时，再对煮过木材的液体用蒸馏法提纯。

在以上两种操作方式中，对馏出液进行提纯的第一步都是把木醇（含甲醇的馏分）通过蒸馏从木醋酸（含醋酸的馏分）中分离出来。这里有两个方法。第一种方法是粗焦木酸可用石灰乳中和，然后将木醇蒸馏出来，焦油状的杂质会同醋酸的钙盐一起留在蒸馏器内，经蒸发获得一种被称为褐醋石的黑色物质。另一种方法是不要先用石灰中和，而是直接蒸馏焦木酸。接取木醇馏出液后调换承受器，接取已经除去大部分焦油的粗醋酸，再用石灰乳中和，经蒸发产出一种被称为灰醋石的盐。这种蒸发是在铁锅里进行的，杂质呈浮渣浮起并被撇除。然后，在这种醋酸盐中加入盐酸，一起放到铜蒸馏甑里蒸馏。假如用的是褐醋石，那就先要进行烘烤，以去除焦油。经彻底蒸馏得到的产物含有约 50% 的醋酸，加入少量重铬酸钾再蒸馏，以氧化杂质。

310

1868 年，由康迪（H. B. Condy）发明了对粗醋酸进行提纯的一种更进步的方法。他将一种褐醋石或灰醋石含量和氯化钙含量相等的溶液缓慢蒸发，生成氯化钙和醋酸钙的一种复盐大晶体。这些晶体很容易被高度纯化，甚至用褐醋石时也是这样。用加入盐酸或硫酸进行蒸馏的方法，就可以从这种复盐中制得纯醋酸。

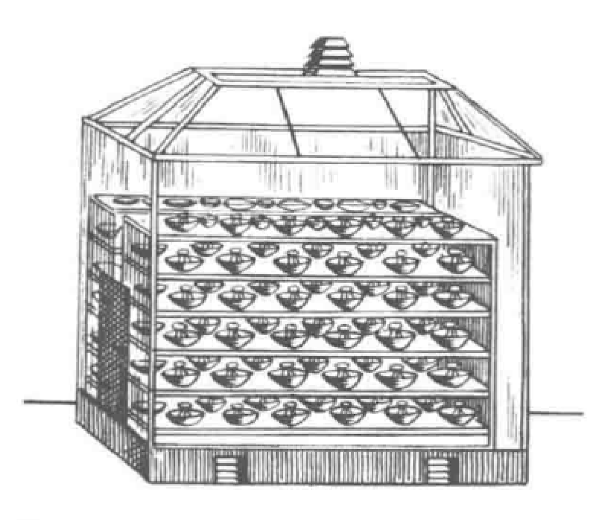


图 160　通过乙醇的催化氧化制备醋酸的装置。

用苏打代替石灰来中和焦木酸，这是 19 世纪末期发明的一

种制取纯醋酸的更好方法，与醋酸钙不同，醋酸钠能用再结晶的方法提纯，而且熔化时也不会分解。冰醋酸（100%）经常是在熔化了的无水醋酸钠中加入浓硫酸再进行蒸馏而制取的。

这个时期，在德国和其他欧洲大陆国家（在那里对酒精所征的税不像在英国那样高），醋酸用一种完全不同的方法获得。在铂催化剂存在的情况下，用空气氧化乙醇蒸气（图 160）。这是在一个密封的箱子里进行的，箱内有许多浅瓷碟，每个瓷碟内放有一个瓷三脚架，支撑着盛有海绵铂的表面皿。将乙醇倒入碟内，把箱内温度升至32℃，同时通入空气，冷凝这股空气流，便凝结出纯醋酸。

人们发现醋酸有许多用途，例如在各种各样的工艺过程中，可以用商品醋酸代替较昂贵的醋。醋酸的许多金属盐有着大量的应用，醋酸钙可以用来作为制造醋酸铝的一种中间体，醋酸铝则是染色和棉布印花的一种重要媒染剂，碱式醋酸铜或称铜绿是一种贵重的颜料。在醋酸钠的各种用途中，有一种用途是注满铁路客车的脚炉，用的是一种饱和溶液。醋酸铵是一种传统的发汗剂，在医药界以“明德雷勒斯的酒精”（Mindererus's spirit）而闻名。

醋酸与醇反应形成的化合物称为酯。醋酸戊酯通过蒸馏醋酸钾、硫酸和戊醇的一种混合物而制得，戊醇则是从杂醇油中得来。醋酸戊酯以“早熟梨香精”（essence of Jargonelle pear）的名字，广泛用作糖果糕点制造业的调味香料，也普遍地在配制清喷漆时被用作一种溶剂。

粗木醇中常含有一些丙酮，它也可以通过许多金属醋酸盐的热解而形成。在带有机械搅拌器的铁制蒸馏器中，以约 290℃的温度蒸馏灰醋石可以大规模生产出丙酮。纯丙酮是一种具有令人愉快的香味的无色液体，是一种极好的溶剂，用于制造氯仿和有防腐作用的碘仿。

粗木醇中含有 75%—90% 的甲醇，为了获得这些甲醇，先用石

灰乳处理木醇，再在一个柱状蒸馏器内蒸馏，馏出液中含有甲醇、丙酮和少量其他杂质，用水稀释后在石灰上再蒸馏。馏出液仍然含有丙酮，可用几种方法除去。然而，假如馏出液准备用于苯胺染料的制造或乙醇的变性，则没有必要除去这些丙酮。纯甲醇是将氯流经蒸煮中的木醇而制得的，这时所有尚存的丙酮都会转变为高沸点的氯化合物，甲醇就能通过分馏分离出来。

草酸同样是由木材制得的，方法是将锯屑和苛性钾混合，并把混合物散布在加热的铁板上。将这样形成的物质用水浸提，再将得到的溶液蒸发，直到结晶出草酸钠，然后用离心机分离出结晶体。在粗草酸钠中加入石灰乳蒸煮一些时间，用过量的硫酸分解形成的草酸钙，然后把不溶的硫酸钙过滤掉，并通过结晶将草酸提纯。草酸作为一种漂白剂，被大量地用于棉布印花和抹净用铜或青铜制成的物品，也用于皮革加工和甲酸制取。

312

14.4 麻醉剂

麻醉剂的发明结束了在完全有知觉的病人身上做外科手术的可怕岁月，但这只不过是一个世纪前的事情。早在1799年，戴维爵士(Sir Humphry Davy)就写道："氧化亚氮有着广泛的作用，它显然能消除肉体上的痛苦，因此有可能用在外科手术上。"

氧化亚氮的致醉作用众所周知，"笑气聚会"在19世纪早期十分流行。不过，在将近半个世纪的时间中，医药业对戴维的发现不予理会。1824年，拉德洛的外科医生希克曼(Henry Hill Hickman)用二氧化碳成功地麻醉过动物，他花费了好几年时间投身于一项运动，试图说服英国和法国的外科医生用氧化亚氮作为麻醉剂进行试验，但是这项运动并不成功。1844年12月，康涅狄格州哈特福德的一位牙科医生韦尔斯(Horace Wells，1815—1848)立下以防万一的遗嘱后，在使用氧化亚氮的情况下拔了一颗牙齿，并接着用这种气体进行了许多牙

科手术。

稍早一些的1842年3月，美国的一位外科医生朗（Crawford W. Long，1815—1878）在进行一次小手术时，用乙醚对病人实施麻醉。手术是成功的，但采用乙醚这件事一般不为人所知。

1846年9月30日，韦尔斯从前的一位学生莫顿（W. T. G. Morton，1819—1868）在使用乙醚的情况下拔了一颗牙齿，10月又在马萨诸塞总医院（Massachusetts General Hospital）将乙醚施用于一位正由沃伦（J. C. Warren，1778—1856）做肿瘤切除手术的病人。这种让病人处于麻醉状态下成功进行的手术，理所当然地被誉为那个年代的伟大发现。这一年的晚些时候，利斯顿（Liston）在伦敦的大学学院医院（University College Hospital）将乙醚用作麻醉剂。

用乙醚作为分娩时的麻醉剂是由著名的妇科医生辛普森（James Young Simpson，1811—1870）在1847年创始的，效果并不完全令人满意。作为刻意寻求一种能够更快起作用的麻醉剂的结果，他在当年发现了氯仿的麻醉特性。把氯仿用于产科，这使他陷入一场激烈的争论[1]中。1853年，维多利亚女王生产利奥波德王子（Prince Leopold）时，斯诺（John Snow，1815—1858）对她施用了氯仿。从此，这场争论突然消失了。

氧化亚氮、乙醚和氯仿的麻醉特性一经证实，精细化学工业就被要求提供所有这些物质以及接踵而来的其他物质，以满足一种新的迫切需要。其中，氧化亚氮是通过小心地加热纯硝酸铵并把气体压缩到圆筒内而制备出来的。乙醚自18世纪就已经生产，当时用于医药制造和用作一种溶剂，因此把它用作麻醉剂时，充分的供应不成问题。

大规模制造乙醚通常采用苏贝朗（Soubeiran）法。这种方法的显

1 一名反对者引用了《创世记》（Genesis）中的“你生产儿女必多受苦楚”，对此，辛普森回应道，在创造夏娃之前，“耶和华神使亚当沉睡”。

著优点是能够一次性操作生产出纯度尚可的乙醚，这样就节省了人力和燃料，而且把搬运量减到了最小，对于制备像乙醚这样危险的易燃物品，后一点尤为重要。这个装置的示意图如图 161 所示。将约 30 磅的硫酸同 20 磅浓度为 85% 的乙醇混合后，在一个铜制蒸馏器内迅速加热，有两根管道将乙醇从一个镀锡的铜制贮存器输送到蒸馏器的底部。蒸馏器的铅制颈部与第一冷凝器连接，这个冷凝器是一个铜制容器，它通过让从螺旋管（乙醚最终在这里被凝结出来）中出来的废水从它顶上流过而保持温度。在这里，水蒸气和乙醇蒸气被凝结，形成的液体可以用一个活栓排出，挥发性强得多的乙醚蒸气则继续前进，来到提纯器。这个提纯器主要是一个充填着被苛性钠浸透的木炭的容器，作用是去除二氧化硫。最后，纯乙醚蒸气在冷透了的螺旋管冷凝器中凝结。

314

乙醚的挥发性和易燃性，导致了它在搬运过程中的危险性，它的

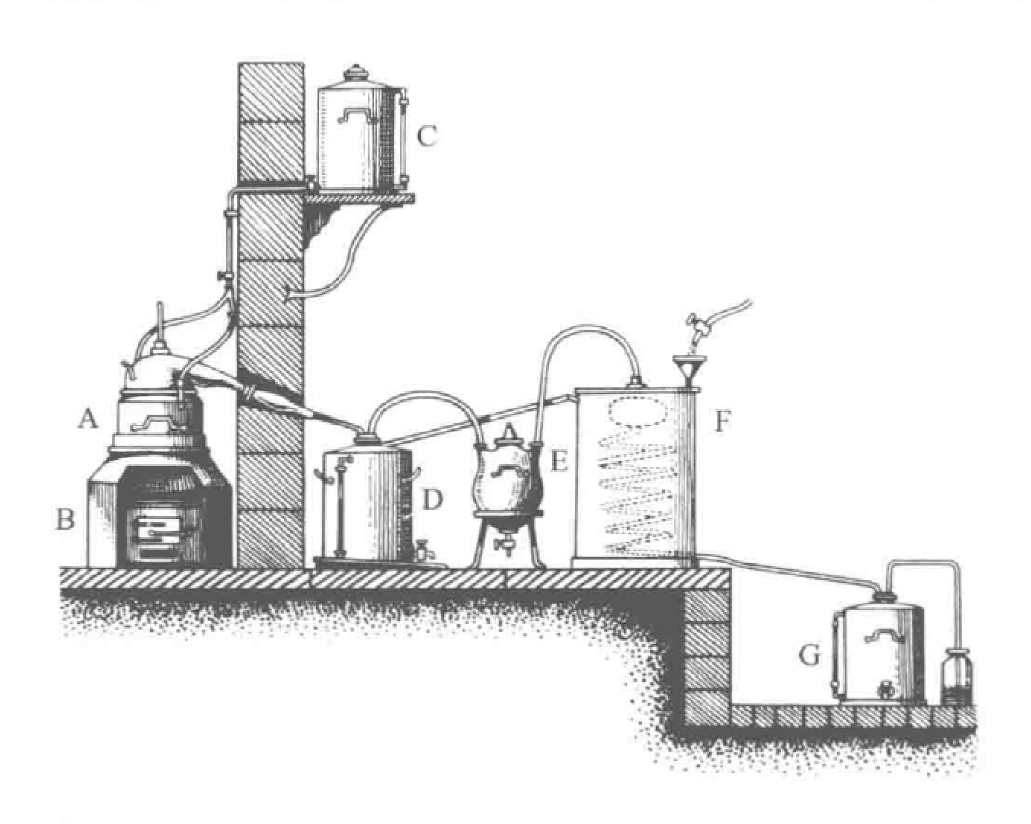


图 161　苏贝兰的乙醚精馏器。由于乙醚的易燃性极高，用一道砖墙把炉子、蒸馏器与其他设备隔离开来。
（A）蒸馏器；（B）炉子；（C）乙醇贮存器；（D）第一冷凝器；（E）提纯器；（F）螺旋管冷凝器；（G）承受器。

蒸汽会与空气形成一种具有高度爆炸性的混合物。由于这些原因，它的制造和搬运必须万分小心。乙醚蒸气往往会沿着地面或车间的地板蔓延一段令人吃惊的距离，假如不幸与明火接触，一场爆炸几乎是不可避免的。因此，在乙醚工厂里，火炉或壁炉要用一道砖墙与主要设备隔离开来（图 161）。另一种更可取的方法是，用灌满高压蒸汽或诸如煤焦油酚等高沸点液体的螺旋管代替火炉。

氯仿通常是通过蒸馏一种水、乙醇与漂白粉的混合物（可添加或不添加熟石灰）而制备的。将稀乙醇溶液放在一个连有一个冷凝器的蒸馏器内加热，加入漂白粉和石灰，将温度升高，直到氯仿开始被大量地蒸馏出来。此后，反应产生的热就足够完成蒸馏。

因为氯仿主要用作麻醉剂，所以最重要的一点是蒸馏得到的产品不应含有有害的杂质。在食品和药物掺假（adulteration of food and drugs）被视为理所当然的年代（例如面包中掺明矾，醋中掺硫酸，糖果甜点用红铅着色），这个要求并不容易实现。由《柳叶刀》(*Lancet*)杂志委任的公共卫生分析委员会（analytical sanitary commission）报告说：“几乎所有最有用和最重要的医药物品，都被恶劣地、有计划地掺了假，而且常常达到一种穷凶极恶的程度。”当时那些关于应用化学的著作，都以相当的篇幅讨论确定氯仿纯度标准的测试，因为许多供药用的氯仿都被未发生变化的乙醇、乙醛、甲醇和盐酸污染了。

有一大部分氯仿用甲基化酒精代替纯乙醇制取，这就导致人们对它们是否适于用作麻醉剂（除非它已被提纯）表示严重怀疑。然而，这个困难被一种新工艺方法克服了。1870 年发明的这种方法，用苛性钾或苛性钠分解氯醛的稀溶液并进行蒸馏，这样获得的氯仿用作麻醉剂通常是十分安全的[1]。

氧化亚氮、乙醚和氯仿都是吸入麻醉剂。第一种局部麻醉

1　然而，即使如此，它也应保存在黑暗处，保存在用瓶塞紧紧塞住的瓶子内，因为一旦暴露在空气和光线中，它就会慢慢氧化，并形成十分有害的物质碳酰氯（光气）。

315 剂——只在手术部位产生麻醉作用的麻醉剂，首先由科勒（Carl Koller，1857—1944）在1884年发明。他先是在眼科手术中用了可卡因，这是一种取自古柯（*Erythroxylon coca*）叶的生物碱。然而，由于可卡因具有毒性，人们不久就开始寻求它的替代物。1897年，艾因霍恩（Einhorn）和海因茨（Heintz）发现氨基苯甲酸的酯类和一些有关的酸具有显著的局部麻醉性质，这就导致发现了整整一个系列的人工合成的局部麻醉剂，例如盐酸普鲁卡因。

14.5　防腐剂和消毒剂

麻醉剂的采用在外科医学上开创了一个新纪元，并且使得外科医生有可能试着去做他们原来不能做的手术。不幸的是，这样做的一个直接后果是，起因于脓毒症的手术后死亡率升高，尽管脓毒症的原因当时还不清楚。

不过，脓毒症的本质问题最终被利斯特（Joseph Lister，1827—1912）解决了。他抓住了巴斯德关于发酵的发现的关键所在，推断出化脓是由于身体组织中存在着活有机体。他认为这些有机体来自空气，并用石炭酸（苯酚）作为一种防腐剂在外科进行了试验，结果取得了显著的成功。利斯特认识到，在手术前用防腐剂比在手术后用更好。1867年，他发表论文确立了自己的消毒外科方法，实现了医学实践中的又一次革命。

虽然利斯特是明确认识到微生物导致感染作用的第一人，但在19世纪之前很久，用作消毒剂的某些物质的价值就被人们凭经验知道了。例如，古埃及人知道泡碱（碳酸氢三钠）的保护作用，并用于尸体的防腐保存。在19世纪，有多种物质被试验用作消毒剂和防腐剂，取得了不同程度的成功。在20世纪的头十年，漂白粉（氯化石灰）的使用被大力提倡，特别是在法国，那里至今还在普遍使用。人们进行了用氯气在船上消毒的试验，在1832年佩斯利流行霍乱

期间又做了类似的试验。当时，一列6个满装着一种漂白粉和稀酸的混合物——正产生着氯气——的大桶，被护送着经过受害城镇的街道，居民们打开所有的窗户，让这种有清洁效能的刺鼻气体进入室内[2]。

1822年由塞吕拉（Serullas）发现的碘仿，直到1878年后才用作防腐剂。19世纪下半叶提倡使用的防腐剂中，包括硼酸（边码320）、氯化锌、甲酚、氯化汞、百里酚和各种高锰酸盐（康迪氏液体）。然而，石炭酸仍然在很大程度上保持着普及性，作为整整一类化合物的基础，它在这段时期显得特别重要。

316

石炭酸或称苯酚是从煤焦油提取出来的初始化合物之一，通过蒸馏煤焦油并收集170℃—230℃时的馏分制备而成。让馏分冷却，结晶出萘，将残留的液体放在一个可对之进行搅拌的水槽内，用苛性钠或苛性钾处理。接下来，用硫酸对这种“苏打的石炭酸盐”溶液进行酸化，并立即把溶液倾倒出来，使它与水槽内开始形成的硫酸钠晶体分离。然后将这种粗石炭酸静置几天，使剩下的硫酸钠再分离出来，用水洗涤，并用小型蒸馏甑蒸馏，可获得三种馏分——一是水和油，二是一种可从中获得石炭酸结晶的油，三是不能结晶的苯酚或称“液体石炭酸”。

人们还进一步设计出对粗石炭酸进行提纯的许多方法，最常用的方法是在熟铁制的蒸馏器内进行蒸馏，得来的酸用重铬酸钾和硫酸处理后，在一种柱状蒸馏器内再蒸馏出来。纯的苯酚结晶成细长无色的针状，但商品苯酚往往带有一种粉红或鲜红的颜色。除了用作消毒剂之外，苯酚还广泛地被当成许多染料（边码273）和苦味酸的一种原料（边码296），苦味酸本身就是一种黄色染料和许多高性能炸药的基础。

另一种被发现具有有效防腐特性的物质是水杨酸。在商业规模上用苯酚制备水杨酸的方法由科尔比（Kolbe）设计，将结晶状的苯酚溶

于苛性钠中，溶液放在铁制的浅容器里充分搅拌，让溶液蒸发至干。然后，在一个蒸馏甑中让得到的酚钠在一股二氧化碳气流中加热，加热时温度要逐渐升高，蒸馏甑内便留下一种水杨酸钠的灰白色糊状物。将这种糊状物溶于水中，加入硫酸或盐酸，用分步沉淀法除去着色物质，水杨酸本身则通过再加入酸而沉淀下来，通过反复的再结晶把它从水中提纯。水杨酸也可用作退热药和抗风湿药，并用于食品保藏和许多染料的制造。

14.6 香精油

从最遥远的年代开始，人们就已经制备用作化妆品的香精油。无论是花香吸取法（*enfleurge*）、浸渍法还是压榨法——这些主要方法在19世纪的应用实践，与它们在古埃及时的情况（第Ⅰ卷，边码289）没有什么不同，在这里无须进一步叙述。依据香精油既易挥发又不能与水溶合这一事实的蒸汽蒸馏法，许多世纪以来也为人们所知。但是，作为蒸馏器设计普遍改进的一个结果，这种方法在19世纪也得到了某些重大的进步。它的最简单形式是在一个直接用火加热的蒸馏器中用水煮沸被捣碎的植物原料，馏出液由一种油水混合物构成，可以很容易地把香精油从中分离出来，因为它浮在表面上。到19世纪末期，人们使用了精心制作的蒸馏器，容量达1.6万加仑，每次操作能处理1吨或更多的植物原料。另一个新发展是用挥发性溶剂——例如乙醚、乙醇或二硫化碳——来提取香精油，这些挥发性溶剂可以通过蒸馏从油中析出，并加以回收供下一次使用。

317

理论化学的发展不但可以确认各种香精油里许多成分的化学同一性，而且在许多情况下，可以用较简单、较便宜的物质把它们合成出来。一个显著的例子是1868年珀金用水杨醛合成香豆素，这种物质使顿加豆发出了特殊的香味。香草醛是使用最为广泛的调味香料之一，它是香子兰荚的活性成分，首先是用丁香酚合成的，丁香酚本身取自

丁香，后来则用愈疮木酚合成。

香精油找到了许多用途，其中绝大多数具有传统特点。它们被用来制造香水、化妆品和肥皂，在烹饪技术中用作调味香料。有些香精油找到了医药上的应用，例如桉树油、樟脑油和冬青油。人们以一个非常大的规模制造松节油，把它用于颜料工业。

14.7 药物和药品

1851 年，药物仍然大量地源于植物。但是，这一年出版的第 10 版《伦敦药典》(*London Pharmacopoeia*)，显示出在医疗中使用特定化学物质的增长趋势。在列入这个版本的新药品中，有各种吗啡盐、丹宁酸、碘化硫、氯化锌、柠檬酸亚铁铵和氯仿。

19 世纪初期开始的研究已经表明，植物药物的作用是由于存在一定的化学实体。此后，许多这样的物质被分离出来，其中包括某些生物碱，主要是吗啡和奎宁。

318

吗啡是鸦片的活性成分，这种人们最早认识的植物生物碱由泽蒂尔纳（Sertürner）在 1806 年分离出来，它的制造已经发展到一个相当可观的规模。奎宁是 1630 年前后从新大陆引入欧洲的金鸡纳树皮的活性成分，由佩尔蒂埃（P. J. Pelletier，1788—1842）和卡文图（Caventou，1795—1877）在 1820 年分离出来，三年后在伦敦的斯特拉特福开始进行制造。

这些活性化合物以一种纯净的状态被分离出来，在医药业和精细化学工业中有着深远的影响。第一，它使人们能够确定药物的准确剂量，这在过去是不可能的，那时的病人不得不接受不知组分或组分可变的粗制药物的治疗[1]；第二，可以避免由于粗制药物中存在杂质而引起的有害作用；第三，对活性成分的化学组分的研究，导致人们努力

1　使用去除了杂质的药物的重要性，为帕拉切尔苏斯（Paracelsus，1493—1541）和他的信徒们所认识，但当时的提纯方法是不适当的。

去合成这些组分以及相关物质。

1860年之后，合成药物的产量增长很快，特别是从1885年到1890年。1875年，人们发现水杨酸（边码316）的盐类是有效的退热药。1899年，阿司匹林（乙酰水杨酸）被首次制备出来。通常与阿司匹林复合在一起的非那西汀，则从1887年开始采用。糖精是一种重要的合成甜味剂，由雷姆森（Ira Remsen，1846—1927）在1879年用甲苯生产出来。1868年，利布赖希（Liebreich）发现了水合氯醛的催眠性质，这是医药界首次采用的合成安眠药。三聚乙醛作为一种安眠药被采用是在1882年，索佛那（二乙眠砜）则是在1889年。巴比妥［又称"维罗纳"（verona[1]）］是1898年由内贝尔陶（Nebelthau）发现的，一大批这样的巴比妥类药物随后被制备出来。

这些合成产品的出现，并没有减少借助溶剂（通常是水或乙醇）从植物原料中大规模提取药物的做法。在19世纪末期，这仍然是药品制造商的工作。在制备番泻叶、洋甘草和鼠李皮这些用水提取的药物时，把原料粉碎后放入浸煮器。这些浸煮器通常是狭长的矩形容器，或者是铜制的水槽，或者是衬有薄铜片的木制大盆。它们或配有冷水供应系统，供冷提取时使用，或配有蒸汽螺旋管，供热提取时使用，提取出来的液体通常在真空锅内浓缩。

酒精萃取往往是必要的，例如在萃取生物碱、树脂和香精油时。在酒精萃取液的生产中，有关装置的设计以必须保存所用的昂贵酒精为主要准则，过滤器和压滤机都要密封以防止挥发。

14.8 溴和碘

319

溴是一种红色的、具有刺激性气味的发烟液体。它是仅有的两种在常温下呈液态的元素之一，另一种是汞。溴是在1826年由巴拉尔（A. J. Balard，1802—1876）发现的，1860年之前一直是一种科学上的

1 这个名称是由冯·梅灵（von Mering）提出的，他认为维罗纳（Verona）是世界上最适于睡眠的城市。

稀奇之物。后来，摄影术和医药学的发展产生了对溴化物的需求，溴本身又为制造煤焦油染料所需要。

溴是从海水（每吨海水含有约2盎司以溴化物形式存在的溴）结晶出盐后留下的母液中获得的，或者是从施塔斯富特光卤石矿石（每吨矿石约含5.5磅溴）中获得的。在一个充填着陶制球的塔中，富含溴化镁的浓缩母液从上淌下，氯气则从下面通入塔中，与溶液反应，释放出溴，生成氯化镁。溴蒸气从塔顶最上端离开并被冷凝，残留在母液中的任何溴都被蒸汽排出。离开冷凝器的气体被导入一个充填着湿润铁屑的小塔，任何剩下的溴都在其中被吸收掉。

溴主要用于生产曙红类染料，生产溴化钾——这是一种用于医药的镇静剂，制造溴化银——以满足迅速发展的摄影业。溴化钾是通过把溴溶解在苛性钾中，蒸发至干，并用木炭旺火加热而制成的。溴化银不溶于水，是一种在溴化钾溶液中加入硝酸银而形成的沉淀物。液态溴有时用作消毒剂，因而被吸收在硅藻土中，以使它比较容易使用。

碘少量地存在于某些海藻中，以前是从燃烧海草而得到的灰中获得的，海草灰在一个时期是苏打的一个重要来源（第Ⅳ卷，边码236）。为了得到碘，将海草灰用水沥滤，让溶液流出，在一个铸铁锅里蒸发浓缩，许多溶解在其中的盐便结晶出来。重复这一过程，可以获得一种富含碘化钾的母液，这些母液与硫酸混合静置，并过滤以除去沉淀物，流入一个碘蒸馏器（图162）。一套蒸馏器由一系列半球形铁锅组成，用明火加热，每个蒸馏甑通过铅管连接到两组平卧的陶制冷凝器，这种冷凝器被称为冷凝水接受器或梨状缶，每组约10个。然后，将二氧化锰加到蒸馏器的内容物中，释放出来的碘用蒸汽彻底蒸馏，再连续不断地进行蒸馏，直到冷凝水接受器充满碘为止。这样得到的碘处于一种干晶体状态，马上就可以投入市场。如果需要以一种纯净状态存在的碘，特别是用于医药领域的

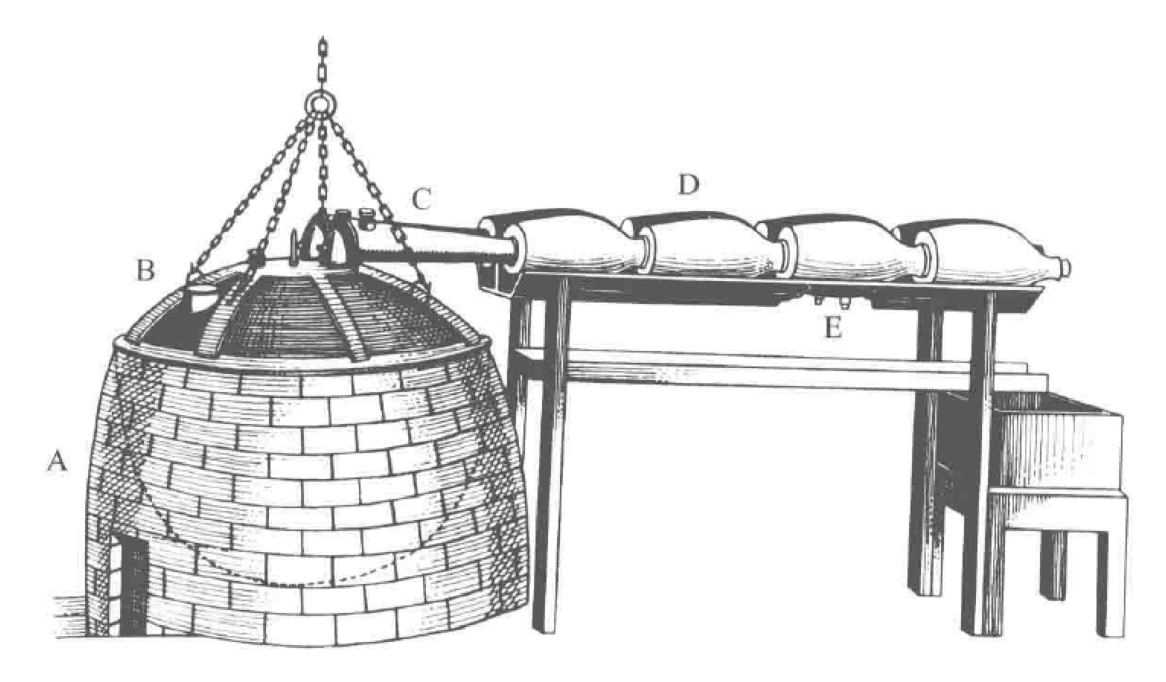


图 162　一种用海草灰制备碘的蒸馏器。（A）安装在砖砌火炉中的半球形铁锅；（B）带有吊链的盖子；（C）铅管；（D）冷凝水接受器；（E）让水从冷凝水接受器流出的放水塞子。

320 碘，可以在小型陶锅内再升华而制得。

这个过程有一个优点，即直接生产出一种纯得足以能够出售的碘。但到 19 世纪末期，碘主要是作为对智利硝石或生硝（硝酸钠）（边码 255）提纯的一种副产品而获得的。生硝再结晶后留下的母液包含约 0.5% 的碘，让母液流入涂有沥青的木盆中，用经计算确定的适当量的亚硫酸氢钠使碘沉淀下来。碘经水洗后，压成饼状，在一个铁制蒸馏甑内通过升华而被提纯。

碘的主要用途是用作防腐剂，不过有些则用于制造煤焦油染料，例如赤藓红。碘也用于制造碘化银，供摄影领域用。

14.9　硼酸和硼砂

硼酸天然存在于世界的许多地方，但托斯卡纳区是它的主要产地。在那里的比萨省，从地下喷出的火山蒸汽喷流中含有这种硼酸，含量按重量计约达 0.06%，蒸汽冷凝时，硼酸以溶解的形式保存在所形成的小湖里。硼酸是通过围绕着蒸汽喷流从中喷出的裂隙或气孔建造围

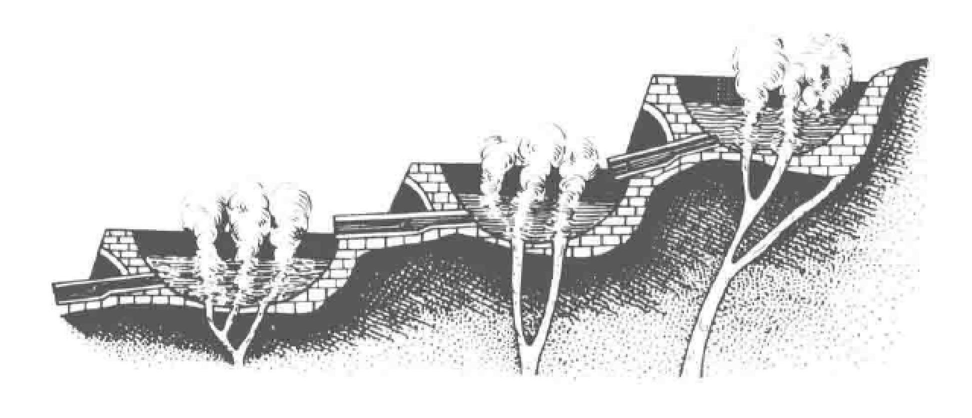


图 163　在托斯卡纳区制备硼酸的方法。

墙而获得的（图 163），如此冷凝收集到的水被酸化，并流进一个公共的储水池进行静置。此后，水通到铁锅或铅锅时，就用火山蒸汽（*soffioni*）加热，不需用另外的热量。经过蒸发浓缩，硫酸钙和其他不溶的杂质沉积在锅内，将热的浓缩溶液冷却，硼酸就结晶出来。用木炭处理，然后再结晶，对它进一步提纯。

在特兰西瓦尼亚、秘鲁、印度和西藏地区的盐湖中，硼砂（焦硼酸钠）以溶液的形式存在。19 世纪初期，它以原硼砂的形式从印度大量进口。原硼砂是通过蒸发含硼砂的碱水湖湖水而获得的一种粗盐，非常不纯，可用石灰处理，经过滤结晶予以提纯。

后来，硼砂大量地取自加利福尼亚的瑟尔斯湖。这个湖的湖底位于一个火山区域，上面覆盖着硼砂晶体。把沉箱沉入水底，把水泵出，挖掘硼砂，就可以回收硼砂晶体。把这些粗盐溶于水中，倾析以去除不溶物质，结晶后就完成提纯，并可以通过再结晶做到更纯。用碳酸钠来处理硼酸，也可以获得非常纯的硼砂。

相关文献

[1] Williams, T. I. "Chemicals" in 'A Century of Technology' ed. by P. Dunsheath. Hutchinson, London. 1951.

[2] Clow, A. and Clow, Nan L. 'The Chemical Revolution.' Batchworth Press, London. 1952.

参考书目

Blount, B.and Bloxam, A. G. 'Chemistry for Engineers and Manufacturers' (2 vols). London. 1896.

'Chemistry, Theoretical, Practical, and Analytical as Applied to the Arts and Manufactures', by writers of eminence (2 vols, 8 pts). London. 1882.

Davis, G. E. 'A Handbook of Chemical Engineering' (2nd ed., 2 vols). Davis, Manchester. 1904.

Gildemeister, E. and Hoffmann, F. 'The Volatile Oils' (trans. from the German by E. Kremers). Pharmaceutical Review Publishing Company, Milwaukee. 1900.

Paul, B. H. (Ed.). 'Payen' s Industrial Chemistry.' London. 1878.

Sadtler, S. P. 'A Handbook of Industrial Organic Chemistry' (2nd ed.). Philadelphia. 1895.

Thorpe, T. E. 'A Dictionary of Applied Chemistry', (3 vols). London. 1890, 1891, 1893.

第5编

交　通



第15章 铁道工程的发展

C. 汉密尔顿 · 埃利斯（C. HAMILTON ELLIS）

15.1 概述

322

如果不是更早的话，轨道运输的采用，至少在中世纪就有了。用凸缘轮行驶在一种用杆子做成的轨道上的车辆，在阿格里科拉(Agricola)的《论冶金》(*De re metallica*，1556年)一书中就有描述，当时是在特兰西瓦尼亚的山区被人们使用(第Ⅱ卷，章末插图，边码562)。用凹槽来引导车辆行进，则是更古老的事情，这种方式可以说是自然产生的。因此，早期的轨道有两种，一种是平面轮压在凹槽底上滚动(后来是压在一种折边板上)，另一种就是多瑙河流域的那种凸缘轮压在一种平轨道上滚动。

直到19世纪初期，在当时所谓的“护轮轨”(edge-rail)上运行的凸缘轮才被普遍应用于铁路轨道。不过，为了适应各种特殊情况，仍然不断有许多变化。在一些用缆索牵引的登山铁道车上，一组轮子是无凸缘的，另一组轮子则是双面凸缘的。空中索道和悬吊式独轨铁路——例如朗根(Langen)式的，必须在那根单独的轨道上使用双面凸缘轮。市内有轨电车采用窄凸缘轮在一种开槽的轨顶上行驶，赫尔河畔金斯顿从前的有轨电车则使用了一种中凸缘轮。

在人们可以获得可靠的原动力之前，铁路只是在当地范围内保持着重要性。在19世纪的头十年内，特里维西克(Richard Trevithick)

对他的高压蒸汽机的应用（章末补白图，图版 20A），使得商业化的蒸汽铁路运输成为可能。默里（Matthew Murray）、哈克沃思（Timothy Hackworth）、斯蒂芬森父子（George and Robert Stephenson）和法国的塞甘（Marc Seguin），都做了大量有价值的工作。无论是塞甘的多管锅炉和哈克沃思对废蒸汽的精妙利用（产生了强大而平稳的牵引力），还是斯蒂芬森父子的机械学天赋和商业敏感性，这些都结合起来催生了后来闻名一个多世纪的蒸汽机车的原型。

早期的机车会压断脆性的铸铁轨道，不断引起麻烦。直到锻铁轨道问世并经改进，运行蒸汽机车的干线铁路才具有了商业化运营的前景。这些机车在牵引力方面的弱点，使得新建铁路的坡度必须非常平缓，尽可能地接近水平，这就是为什么像伦敦–伯明翰铁路和大西部铁路公司（Great Western Railway）伦敦至斯温登段这些早期的干线都那样平稳的原因。然而，到 1866 年，米切尔（Joseph Mitchell）就能信心十足地建造因弗内斯–珀斯枢纽铁路，其中有很长一段坡度达 1/70。我们甚至可以回溯到 1840 年，那时建成并投入运行的伯明翰–格洛斯特铁路，在经过利基山区（Lickey Hills）的两英里路段上，坡度大于 1/38。

323

现在已经消失了的“挖土工”一族（navvies，即“navigators”，当年开凿运河的工人），提供了早期铁路建设所需的强劳动力。当时根本没有什么机械挖掘设备，铁路是靠锄、铲、锹和手推车来建造的。所有的铁路建设都是非常艰苦的工作，不管采用的是洛克（Joseph Locke）的爬坡和绕行的方式，还是罗伯特·斯蒂芬森（Robert Stephenson）的尽可能走直线的方法。

世界上第一家使用蒸汽机车在干线上既营运货物又营运旅客的公共铁路公司，是于 1830 年开办的利物浦和曼彻斯特铁路公司（Liverpool and Manchester Railway）。19 世纪 30 年代末期，大干线铁路网中的第一条干线建成了。直到 1850 年，经历了“铁路热”的兴衰之

后，铁路运输业才牢固地建立起来，在接下来的半个世纪向着我们现在仍然熟悉的方式发展。在 1850 年，英国和许多其他国家的铁路都是靠把双头式铁轨紧固在横置枕木的轨座上来铺设的。有一些铁路线——例如大西部铁路公司的铁路线，用平底式或倒 U 形截面的轨道安装在由横木固定的纵向粗木上。这种形式的轨道有着一位可悲的美国亲戚——带轨（strap rail），它可能会翘起来把车厢底戳穿，造成灾难性的后果。比带轨好得多并在海外广泛应用的是倒 T 形轨道，它的平底直接安置在轨枕上。这是今天世界各地普遍采用的一种形式，虽然现在具有宽厚得多的截面，并在接头处使用了弹簧卡子或螺栓，在轨枕与轨道之间使用了垫板。

324

世界上最常用的轨距是 4 英尺 8.5 英寸，它来自泰恩河畔的煤矿铁路轨道。最宽的轨距是 7 英尺 0.25 英寸，它在大西部铁路公司的部分铁路上一直沿用到 1892 年，只有移动式吊车的轨道轨距才超过这个尺寸。今天仍在大量采用的其他轨距，包括 3 英尺 6 英寸［有时称为南非轨距（Cape gauge）］、1 米、俄罗斯的 5 英尺轨距、爱尔兰的 5 英尺 3 英寸轨距和印度的 5 英尺 6 英寸轨距。

让蒸汽进入以利用其膨胀力的阀动装置在 19 世纪 40 年代发

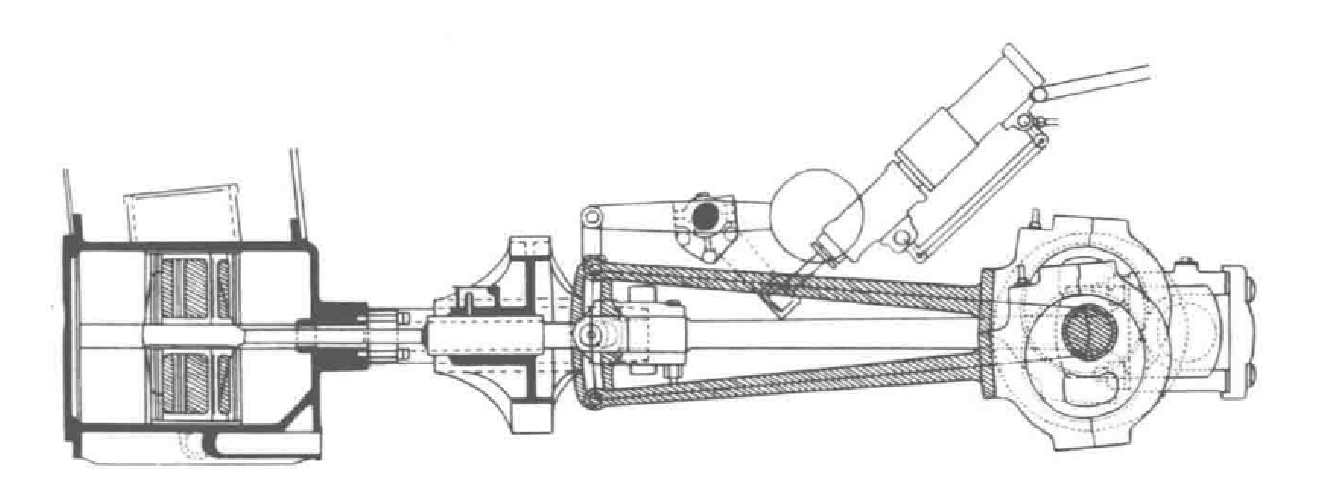


图 164 斯蒂芬森的连杆运动装置和滑阀，带有蒸汽换向装置，用于伦敦和西南铁路公司 (London and South Western Railway)。图中显示出阀动装置处于中点位置时的情形，这时蒸汽机处于死点。从图中可看到偏心轮后面的船用型连杆的大端，这是德拉蒙德 (Dugald Drummond) 在苏格兰地区和西南铁路公司制造的产品的特征。

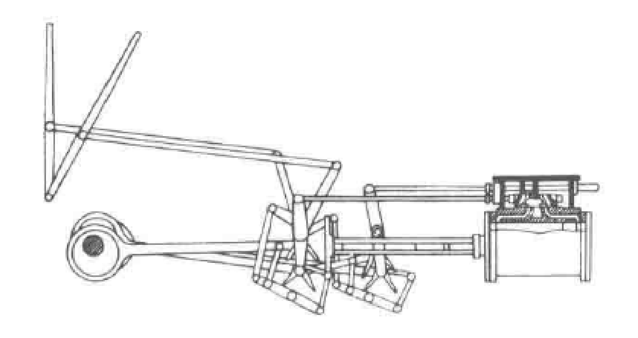


图 165 凹节阀动装置和滑阀，这种形式的装置在 19 世纪 40 年代采用膨胀式连杆运动装置之前曾被广泛使用。

展起来，著名的类型有古奇父子（Daniel and John Gooch）的装置、阿伦（Alexander Allan）的装置和斯蒂芬森－豪（Stephenson-Howe）的装置。在所有这些阀动装置中，阀门的运动由偏心装置和一根滑动换向连杆来控制，这种运动因此通常被称为“连杆运动”（图 164）。较早的阀动装置不具有通过一根换向连杆来改变停汽点的功能，只能用来让蒸汽进入和排出汽缸。更早的阀动装置通常是间接式的，即偏心杆通过凹节[1]与摇杆接合，由摇杆把它们的运动传送给阀杆（图 165）。

这一时期有两种经典类型的机车，它们都起源于英国。其中，伯里（Edward Bury，1794—1858）的机车采用杆式车架（bar frame），出口到美国受到热烈欢迎，并经多处改进、精心制作和充分放大，把正统蒸汽机铁路机车的地位在美国保持了一个多世纪。各种形式的板式车架（plate-framed or slab-framed）机车则成了典型的英国机车，连英国国有铁路公司（British Railways）近期的蒸汽机车也都是板式车架的。图 166 和图 167 对 1880 年前后的两种典型的英国机车和美国机车进行了比较。全世界的工程师不是仿造杆式车架的机车，就是仿造板式车架的机车。这里有许多变化，其中有的很重要，有的则属于异想天开。有一种类似于板式车架的机车采用夹层板式车架的（sandwich-framed），现在早已废弃。在这种机车中，主车架置于车轮外侧，但在内侧有板式车架予以补充，它是用封在铁板之间的硬木板制作的。克兰普顿（Thomas Russell Crampton，1816—1888）是一位在国外比在他自己的国家更有名望的英国工程师，首创了现在普遍采用的做法，不但把汽缸放在外侧，而且把阀动装置

325

1 一种钩或叉，按设计垂落在一根杆或柄上，形成临时的连接。

也放在外侧，同时提高了站台以方便上下车。尽管当时的设计一般很简单，设计部门的标准却是很高的，许多留存下来的图纸细致精美，显得无与伦比。

在19世纪中叶，各种机车的速度差别很大。在当时采用宽轨距和即使按多年以后的标准也是相对较大的机车的大西部铁路公司铁路线上，通常的速度是每小时60英里。但在英国其他地方，尤其是在其他国家，速度一般要低得多。当时，人们已经能用科学方法对机车的性能进行研究，大西部铁路公司的丹尼尔·古奇（Daniel Gooch，1816—1889）制造了第一批用来做运行试验的测力车，"燕子号"（*Swallow*，图版21A）就是后来仿效古奇的基本设计而制造的一种机车。

将给水在压力下通入锅炉，最初完全是靠压力泵来完成的，压力泵可以用一根曲轴或者从十字头引出的一根延长杆来带动运作。只有当机车在运动或者让车轮旋转时，才能补充因蒸发而损失了的水。在机车闲置期间，如果不把这些时间花在一种特殊的辊道上，就必须让机车仅仅为了补水而在侧轨上来回开动。制造第一个实用的注水器的功劳，应该归于法国工程师吉法尔（Henri Giffard，1825—1882）。在这种注水器中，从一个喷嘴喷出的新蒸汽的能量将给水从水柜中抽出。

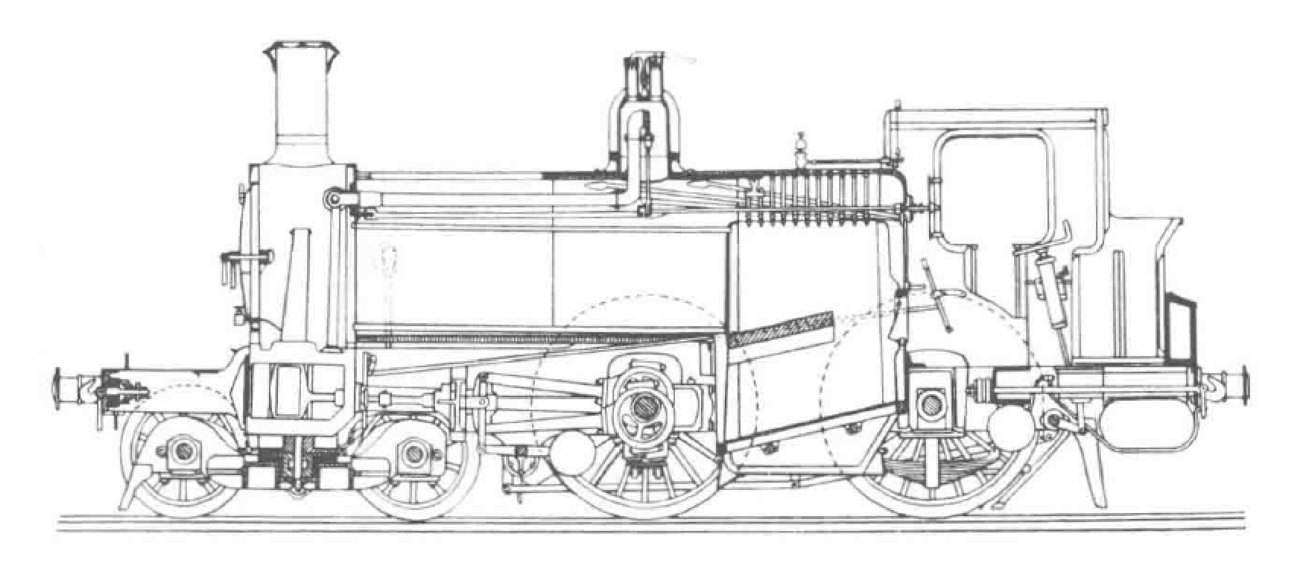


图166　德拉蒙德为北不列颠铁路公司(North British Railway)设计的快速客运水柜机车，1879年。它具有斯蒂芬森的连杆运动装置、亚当斯(Adams)转向架和拉姆斯博顿(Ramsbottom)安全阀。图中显示了火箱中的砖拱，但所有的烟管（一共有220条）除了两条外都省略了（参见图167）。

蒸汽遇到新进入的给水便会冷凝，两者的混合物通过第二个喷嘴，再326通过一个逐渐变宽的通道，这时水的压力足以克服锅炉里的压力而让水通过一个瓣阀。采用这种方法，锅炉里就能保持必要的水位。吉法尔最初的注水器在19世纪中期进行实验性安装，此后又有了改进。但是，许多英国工程师一开始都迟疑着不敢使用，在某些思想保守的人看来，与不太方便但是简单的压力泵相比，吉法尔的注水器似乎是一种机械上的骗局，这样的态度是英国机车工程师们一个再常见不过的老毛病。例如，布赖顿的斯特劳德利（William Stroudly）经常被奉为维多利亚时代机车工程师的一个典范，这个积极倡导精心设计和精心制造的人，却死抱着他的老压力泵不放（图版21C）。

与锅炉给水相联系的其他装置是给水的预热和净化设备，远在19世纪60年代就见诸应用。奥地利的绍（Schau）和贝吉施–梅尔基施铁路公司（Bergisch-Märkische Railway）的瓦格纳（Wagner），将注入的给水向下通过置于锅筒上一个附加汽室中的一组水盘，以除去水垢所导致的杂质。这个汽室上装有一些瓣阀，水从顶部引入，这种设置是我们今天所知的顶部给水的最早实用形式。在德国，它仍被称作瓦格纳净水器。伦敦和西南铁路公司的贝蒂（Joseph Beattie）发明（并获得相应专利）和使用了各种各样的给水加热器。最老式的给水加热器是一种利用废汽的喷射式冷凝器，但它会使油和其他杂质进入锅炉。贝蒂用一种同心圆管道装置取代了这种给水加热器，废汽在不直接接327触的情况下加热给水。由于吉法尔的注水器不能处理热的给水，人们就同时采用了老式的压力泵和蒸汽驱动的辅助泵，后者则与加热器相连。

在19世纪50年代晚期和60年代，最重要的发展之一是用煤代替焦炭来作为燃料。一方面，烧起来无烟的焦炭价格昂贵。另一方面，早期的法律规定机车“必须有效地处理掉它们自己产生的烟”，而焦炭提供了预防烟气散发的唯一可靠的途径，使铁路公司履行了

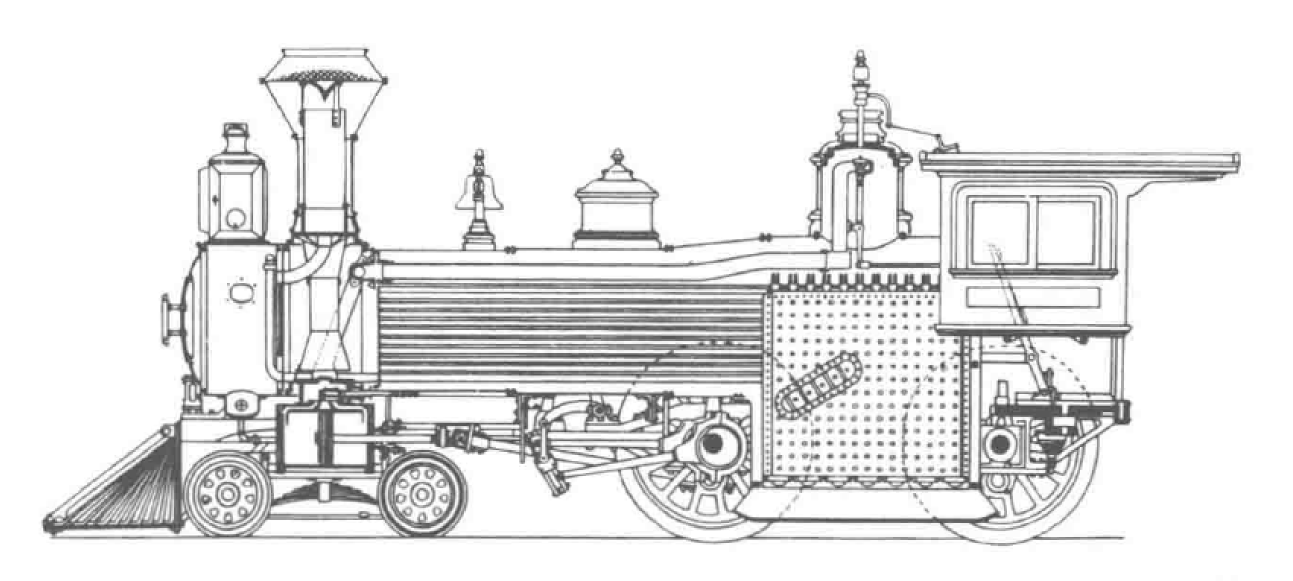


图 167 为老殖民地铁路公司 (Old Colony Railroad) 制造的美国机车，1883 年。滑阀置于汽缸顶部，通过摇杆使其运作。火箱里有一个复杂的火花制止器、一个加长的烟箱和一个水拱，还有一个大炉栅，以燃烧低等级燃料（参见图 166）。

法律。贝蒂、东南铁路公司（South Eastern Railway）的卡德沃思（J. I. Cudworth）、伦敦和西北铁路公司（London and North Western Railway）的麦康奈尔（J. E. McConnell）等人设计了一些复杂的锅炉，实现了煤的完全无烟的燃烧。贝蒂用了燃烧室和充水的火箱隔层，甚至用了一种热虹吸管，在节省燃料方面从未被传统的机车所超过。他的“圣乔治号”（*St George*）机车牵引着快速列车在一条难行的铁路上行驶时，平均每英里耗煤 23 磅。这些结构复杂的锅炉很脆弱，因此需要热的给水。

内陆铁路公司（Midland Railway）在柯特利（Matthew Kirtley）的指导下进行的一些实验，产生了一种相当简单的燃煤火箱，它只用了一个砖拱和一块折向板这样的简单装置。虽然在燃料使用上不太经济，但与其他结构非常复杂的火箱相比，这种燃煤火箱极为耐用，而且维护成本低。在美国，费城和雷丁铁路公司（Philadelphia and Reading Railroad）的米尔霍兰（James Millholland）对无烟煤的燃烧进行了各种各样的有趣实验。他的成就在设计出一种许多国家都仿造的极宽炉栅时达到了顶峰，但是这种火箱往往被错误地称为伍滕火箱（Wootten firebox）。严格说来，火箱的设计要根据所烧燃料的性质而变化。在

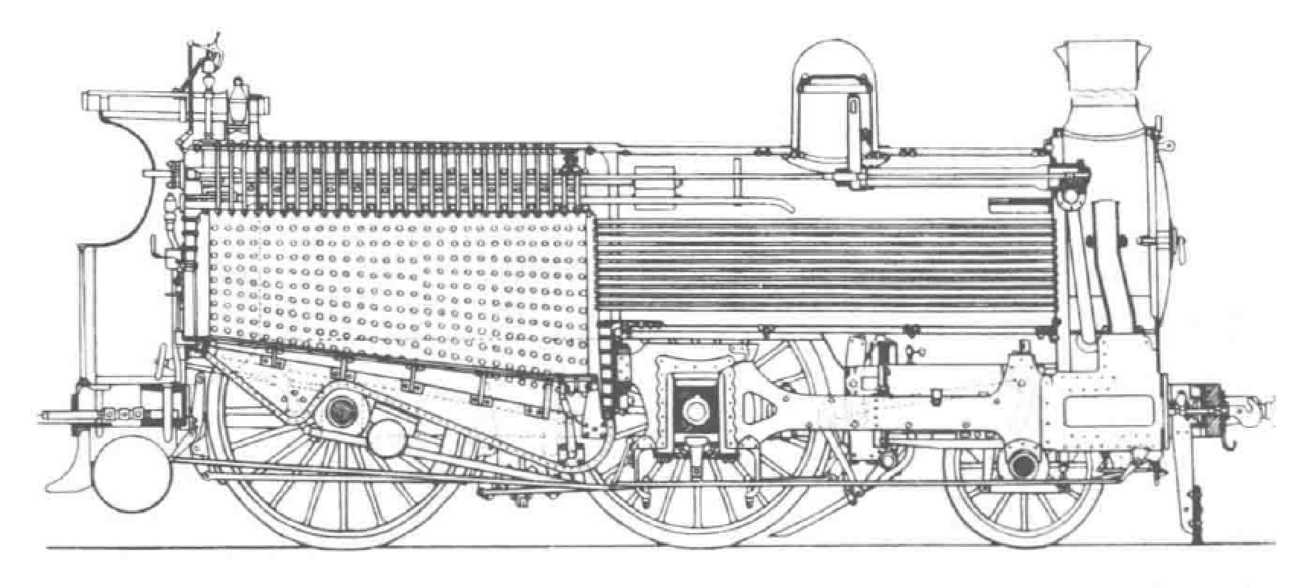


图168 比卡(M. L. Bika)设计的一种比利时快速机车的剖面图，1885年。注意为燃烧劣质小煤块和煤屑而设计的倾斜大炉栅。主车架位于外围，蒸汽是靠华尔夏茨(Walschaerts)的阀动装置(仅部分可见)配给的。图中烟囱被画得断开了，其实它比汽室高得多(参见图169)。

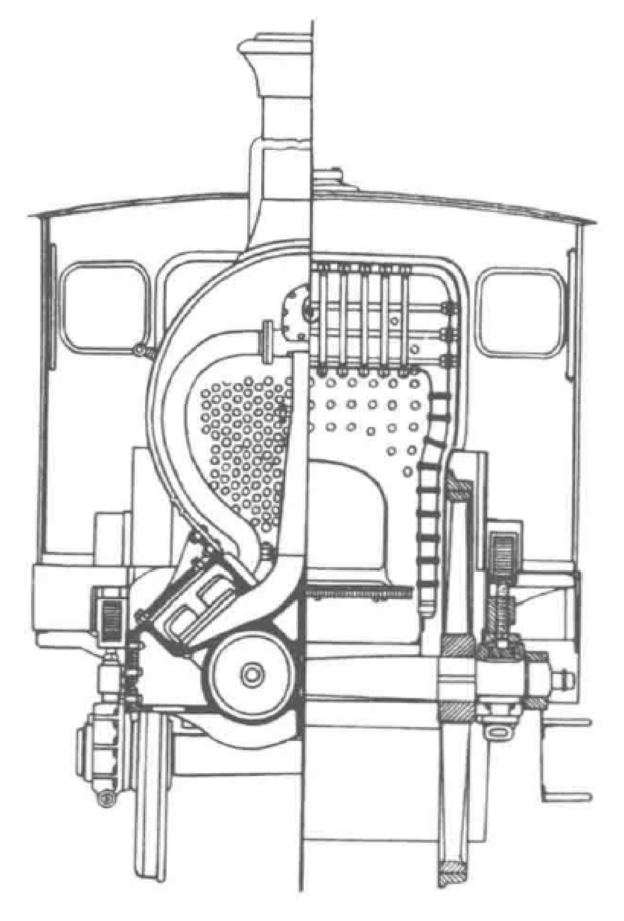


图169 比卡设计的一种比利时机车的剖面图，1885年。它具有一个贝尔佩尔式火箱，特征是平的炉顶和平顶外壳(参见图168)。

19世纪末及此后，贝尔佩尔(Belpaire)的烧威尔士煤的平顶长炉栅火箱(图168、图169)，在它的诞生地比利时和大西部铁路公司的铁路线上都使用得很好。事实上，这种火箱现在仍然被广泛地使用着。

在整个维多利亚时代中期，快速客运机车常常采用单根主动轴，普通客运机车和重型货运机车却分别采用了四联动轮和六联动轮。1859年，贝蒂在英国首先废弃单根主动轴而制成联动轮快速机车，后来又制造了英国煤水车原型机。这种原型机采用了带槽的板式车架，弹簧悬挂装置

位于轴箱之上和站台水平面之下，水柜宽度达到了最大。在大约 90 年以后，它被作为英国国有铁路公司的标准煤水车而永远保存下来。

在普通的机车上，无论是装在车架内侧还是外侧，汽缸数目几乎是一成不变的两个。外侧汽缸在美国和中欧最受欢迎。1861 年，哈斯韦尔（John Haswell）——一位在维也纳的英国工程师——制造了一台四缸单胀式机车，4 个汽缸都装在车架外侧，呈对角排列，通过双霍尔曲轴驱动一根单根主动轴。霍尔（Joseph Hall）也是一位英国工程师，他去了慕尼黑，在马费（J. A. Maffei）的商号任职。他的曲轴安装在主车架外侧，主车架本身又位于车轮的外侧，偏心装置和连杆运动装置同样位于外侧，在曲轴与轴箱之间（图 170）。这种形式在英国铁路上很罕见，但有一个例外，那就是麦康奈尔为伦敦和西北铁路公司设计的一辆实验性机车。这种设计使得机车过宽，与站台的盖顶发生了一些摩擦，这让他的机车得到了“麦氏轧布机”（Mac's Mangle）这个绰号。然而，奥地利、德国南部以及许多

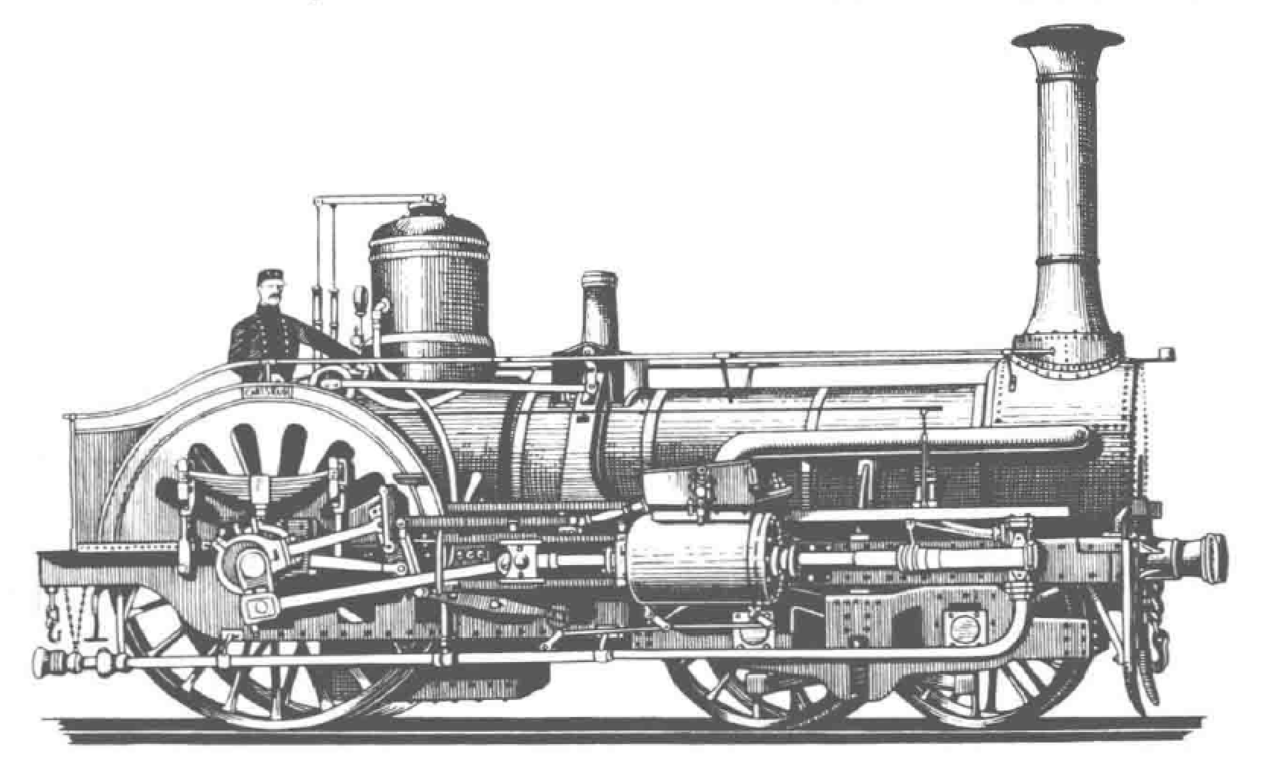


图 170　克兰普顿的专利机车“彗星号”(*Komet*)，由卡尔斯鲁厄机车工厂 (Karlsruhe Engine Works) 于 1854 年为巴登州立铁路公司 (Baden State Railway) 制造。它用了霍尔曲轴，古奇连杆运动装置位于外侧，阀门则在汽缸顶上。转向架受力得到了均衡。锅炉给水靠由活塞尾杆带动的压力泵来完成。

其他欧洲大陆国家，由于采用的是低站台，这一特点就没有带来什么麻烦。

329 包括克兰普顿、霍尔、哈斯韦尔在内的英国工程师，以及西欧和中欧的其他一些工程师，他们的影响在更远的东方有着一条平行线。美国工程师怀南斯（Winans）、伊斯特威克（Eastwick）和哈里森（Harrison）缔造了俄国的铁路机车和车辆工业，英国和美国的工程承包商都为俄国铁路建设早期的一大部分立成就下了功劳。

15.2 信号

英国早期的铁路信号依靠的是一种把简单的固定信号机和执行时间间隔法结合起来的方法。除在枢纽站外，固定信号机的正常位置是“畅通”，当一列火车通过以后，每个固定信号机在一段或长或短的时间间隔内被置于“危险”。在交通繁忙的情况下，这样一种系统的风险显而易见，但如果速度不太快并且规则被遵守，它并不像看上去那样潜藏着很大的危险性。按照各家铁路公司（它们都按自己的意愿办事）的不同，固定信号机被分为各种各样的类型。最早的固定信号机由可移动的挂旗和信号旗构成，晚上则用色灯。转盘式信号机被大量采用，特别是被大西部铁路公司及其在英国和海外的合作者所采用。直到今天，90度一转的棋盘式信号机仍然在法国广泛使用。18世纪末期在法国由沙普（Chappe）发明的作为一种目视电报（第Ⅳ卷，边码645）的臂板信号机，特别适用于铁路信号系统，在19世纪40年代初被格雷戈里（Hutton Gregory）引进了。

330 电报的使用和改进使得所谓的闭塞制度成为可能。上行和下行的铁路被划分成一个个闭塞区间，在接到下一个闭塞信号控制站发来电报告知先前的列车已经驶离这个区间之前，任何一个闭塞区间，是不允许其他列车进入的。起初，这种制度只是在一些特殊的区间（例如很长的隧道）采用，但是1861年，与老式单针电报有关的一次失误，

导致了位于布赖顿的克莱顿隧道中发生恶性撞车事故。这次事故是各种情况碰在一起导致的。首先，前面区间所规定的时间间隔短得十分危险；其次，一种非常早期的自动信号机失灵了，它本该在列车触压轨道接触器时回归到“危险”位置，实际上却没有这样；最后，一名信号员手忙脚乱，用电报发出了一些含糊不清的信息，结果两列火车驶入了同一个闭塞区间——克莱顿隧道。

这次事故发生以后，一个有趣的观点分歧出现了。政府方面的督察员建议建立一种完善的闭塞制度，铁路公司则以过多的机械化安全措施会导致更多的人为失误的理论予以反对，这名信号员的错误成为例子。不管怎样，电报技术的发展使闭塞制度的运作变得更顺畅，麻烦也更少了。到19世纪末，全英国和其他大多数欧洲国家的铁路干线都实施了闭塞制度。

把杆件装在一个单独的长锁闭架中的联锁转辙器和联锁信号机，1856年由萨克斯比（Saxby）安装在伦敦的布里克莱厄斯阿姆斯（Bricklayers Arms）铁路枢纽站。4年后，在肯特镇（Kentish Town），钱伯斯（Chambers）安装了第一套完整的转辙器和信号机的联锁装置，信号机保证不会给出与转辙器位置不相符合的指示。在美国，1874年首先在纽约市的斯普伊滕杜伊维尔（Spuyten Duyvil）安装了一种联锁装置，一年以后，一种完善的萨克斯比和法默（Farmer）的联锁装置在新泽西州的东纽瓦克铁路枢纽站，安装成功。

虽然从很早起色灯就用于夜间信号指示，伦敦的地铁到19世纪60年代也采用了专门的色灯信号机，电气自动色灯信号系统的时代却仍然十分遥远。即使是采用臂板信号机的机械自动信号系统，也是到世纪之交才问世。宾夕法尼亚铁路公司（Pennsylvania Railroad）采用了这种系统，英国的第一套设备则是1903年在索尔兹伯里平原格雷特利（Grateley）的西南铁路公司干线上建立的。海外许多国家中，铁路信号系统在很长一段时间内远远落后于英国的实施水平。

美国主要依靠一种用电报传送行车命令的制度，远远不能防止人为的错误。在长达几十年的时间里，俄国的铁路信号系统都处于落后状态。德国和法国虽然引领着欧洲大陆，但即使是法国政府对各家铁路公司强制实行信号系统统一化的努力，也由于公司方面刻板的孤立主义态度而遭到彻底失败。

331

在北美那个庞大的单线铁路网上，双向交通完全是靠行车命令来进行控制。但是，早在1860年，伦敦和西北铁路公司就开始通过一种火车路签制度，来使这种双向运行免于发生迎头相撞的事故。在这种制度中，各个单线区间签发一枚路签或短棒作为允许运行的凭证。可以向在那列带有路签的火车之前的一列火车或接连若干列火车发一张或若干张路票，但在路签收回之前，不可以有列车从相反方向进入这一区间。这种制度在理论上无懈可击，但它不能防止因愚蠢、粗心而铸成的大错，也不能防止构成犯罪的玩忽职守。不过，这种简单的凭证制度演化为与闭塞设备协同工作的更为先进的路牌制度和电气路签制度。1878年，泰尔（Tyer）的电气路牌制度获得专利。此前两年，在萨默塞特和多塞特联合铁路（Somerset and Dorset Joint Railway）上的拉德斯托克站发生了一起单线碰撞事故，一般认为正是这次事故骇人听闻的场面促成了这种制度。

15.3 轨道设施

在19世纪后半叶期间，轨道设施在质量和强度上都得到了改进。起初，铁轨接头的构造很简单，两根铁轨的端头紧固在一个共同的轨座中，一辆重型的或行驶鲁莽的机车就会使铁路遭到严重破坏。1847年，布里奇斯·亚当斯（Bridges Adams）获得了鱼尾板接合的专利，这种方法是把一对铁轨端头的两边用窄板夹住，并用螺栓穿过轨腹予以固定。东部郡铁路公司（Eastern Counties Railway）的布拉夫（Peter Bruff）购得了这个专利，鱼尾接轨夹板从19世纪50年代之后被人们

广泛使用，这种简单的装置大大提高了轨道设施的安全性。

成功地用钢取代铁来制造轨道是英国的一项重要贡献，但它只有在1856年出现了贝塞麦（Bessemer）炼钢法（边码54）之后才可能实现。最早使用贝塞麦钢来制造轨道的据称是伦敦和西北铁路公司，它在克鲁炼钢并轧制供自己用的轨道，它在那里有着世界上最大的由铁路公司拥有的机器制造厂。即便如此，铁轨依然继续生产了许多年。美国的第一批钢轨是1867年在宾夕法尼亚制造的，巴尔的摩和俄亥俄铁路公司（Baltimore and Ohio Railroad）两年后同设菲尔德的一家商号签下了第一批钢轨订货合同。随着列车重量和速度的增加，单位长度轨道的重量按照与之相称的比例逐渐增加。但是，当美国的机车在世纪之交实际上已经变得很重的时候，每码重100磅的平底轨还是被看作重型轨道。在英国，由于铁路车辆要轻得多，以当时的标准，每码重90磅的双头钢轨就是很厚实的了。

15.4 车站的设计

332

很早以前那种类似于粮仓的车站，除了用作旅客的候车场所外，还用作车棚。不过，具有维多利亚时代后期特征的用铁与玻璃制成的巨大拱形房顶，则是铁路业对建筑发展的独特贡献之一，在伦敦的典型例子有巴洛（Barlow）的圣潘克拉斯（St Pancras）车站、布律内尔（Brunel）的帕丁顿（Paddington）车站和霍克肖（Hawkshaw）的坎农大街（Cannon Street）车站。在英国以外也有着许多壮丽辉煌的车站，例如费城的布罗德大街（Broad Street）车站和美因河畔法兰克福的中央车站（Central Station）。宏大的装有玻璃的房顶具有双重作用，既能使车站的大部分地方一年四季保持干燥和处于合理的防风状态，又能避免车站变得太昏暗。这种房顶很大，可以让机车排出的浓浓的废蒸汽消散掉。

最初，车站的布局极其简单，这是以火车不能迅速调动为代价

的，道岔尖轨少到不能再少，大型车站里则用一排排转辙板或直径非常短的转车台来让车辆转换轨道。转车台是一种相当古老的东西。早在1719年，法国国王路易十五（Louis XV）好像就在凡尔赛附近的马尔利勒鲁瓦游览线路上有了一个转车台。用转辙板来调动车辆既麻烦又简陋，而且不能用合适的信号来控制，并且只能在旅客车厢仍然很小、旅途也较短时适用。即使是19世纪70年代初的普尔曼（George M. Pullman）卧铺车厢，也需要类似于一个机车转车台那样的装置来进行这种方式的转轨。到了19世纪末期，转辙板仅仅用于某些大型货物仓库。在那里，运货车要靠绞车或马拉来调动。

在19世纪末的复线铁路上，最简单的乡村小站通常由上行和下行的旅客站台组成，在这条或那条轨道上设置了一些背向道岔，以把火车引入货场。货场往往具有若干条轨道、一个带有起重机和堆物站台的有遮盖的货棚，以及一个单独的煤炭仓库。在上行和下行的直通轨道之间，往往有一条背向的剪式转线轨道，或者在车站两头各设一条，以便给任何必须在这里终止前行的列车提供一个往回行驶的设施。许多比这种车站大得多的通过式车站，基本上也是这种格局。但在主要的中心站，货运站和客运站往往是完全分离的，而且通常位于一个城镇的不同地方。在当时，岛式站台车站已经十分普遍，某些非常大的车站就是按岛式原则设计的，最大的例子是1892年重建并使用至19世纪末的爱丁堡韦弗利（Waverley）车站。这个岛式站台由两个在尾部相接的尽头式站台组成，办公处设在它们之间，直通轨道绕过这个岛通向南方和北方，在南边还有一个独立的岛式郊区车车站。在设计这个车站的年代，郊区铁路交通还非常重要。但到了20世纪早期，大部分郊区铁路交通已经输给了缆索电车，而且再也没有挽回败局。另一个具有相同布局的苏格兰车站是珀斯总站（Perth General）。在英格兰，卡莱尔车站、普雷斯顿车站和达灵顿车站可以与前面说的车站相比，这种大岛形式的布局成了英国车站的特征。英国以外的例子通

333

常位于国际边境地区，在萨尔茨堡就有一个精美的岛式车站。

无论是有意设计还是受流行趋势影响，城市的尽头式车站可以是扇形的，例如伦敦市内滑铁卢车站（建于20世纪）的西南部分，也可以是具有大量方便通道的平行线式的，例如帕丁顿车站。欧洲大陆一个有趣的例子是慕尼黑中央车站，它的布局在某种程度上与帕丁顿车站相似，但增设了两个“翼”站，专门用来应付本地交通。在一侧具有直通轨道的中型半尽头式车站，以伦敦的布莱克弗赖厄斯（Blackfriars）车站和都柏林的韦斯特兰街（Westland Row）车站为典型，它们都建于维多利亚时代，具有许多共同的特征。都柏林的阿米恩斯大街（Amiens Street）车站和曼彻斯特的伦敦路车站，是属于同一技术类型的车站。

两个背对背设置的大型尽头式车站，有着共同的直通轨道和一个共同的长长的通过式站台，这种情况是很少见的。曼彻斯特的维多利亚和交易所车站（Victoria and Exchange Stations）提供了这方面最好的例子。这两个车站如此分隔进行建设，是由于兰开夏郡和约克郡铁路公司（Lancashire and Yorkshire Railway）与伦敦和西北铁路公司原先是各自独立的公司。确实，铁路公司之间的分歧造成了英国大型车站这种显然不合逻辑的情况。值得注意的例子是伦敦桥车站，它具有一个通过式高层区域和一个尽头式低层区域，另外还有一个大得多的尽头式区域，但仍然处于低层，它原来是伦敦、布赖顿和南海岸铁路公司（London，Brighton and South Coast Railway）的伦敦城终点站。这种类型的分隔在英国以外的城市是不常见的，因为那里的铁路所有权很早开始就一般都归国家所有。不过，在布宜诺斯艾利斯和哥德堡这样一些独特的城市里，有一些终点站差不多排成了一排，彼此间却没有什么关系。

15.5 机车的设计

像大多数大城市一样，在伦敦周边有了一些铁路车站，市内的道路交通在19世纪50年代期间已经拥挤不堪。正是这种情况，导致了世界上第一个地铁系统在1863年初开通（边码346，图版22）。与后来的深层地铁不同，这条地铁没有涉及什么革命性的技术，采用的是挖开以后再覆盖起来的建造方法。然而，采取一些机械方面的改革是必需的，因为机车上不得不装设一些表面冷凝器，以防止隧道里变得雾气弥漫。利用装在排气管道里的双向阀，可以把废蒸汽送回水箱，并规定在每次行程结束时把水箱排空重新注满新的冷水。显然，这是一种想来容易做来难的方法。事实上，在交通繁忙的情况下，水箱里的水几乎会达到沸点，实际上起不到冷凝作用。

334

从19世纪60年代起，英国和其他一些国家在机车的总体设计上进行了各种各样的改造。到那时为止，降低重心是人们一直在努力的目标。克兰普顿的一些专利在稀奇古怪方面走到了极端，就是想要达到这个目的。在伦敦和西北铁路公司的铁路线上，麦康奈尔大大提高了机车的重心，这比后来的实际应用时间早了很久。他的机车根本不像批评家们所预言的那样头重脚轻，而是在线路上行驶起来完全更为平稳顺当。不过，由于采用了一种低矮的锅炉，有时会有过分剧烈的横向运动。

过分的横向运动还可能是因为机车采用了古老的短轴距转向架（bogie）[1]，这种转向架有一个中心枢轴，但它的轴销没有侧隙。不过应当指出的是，使用这种老式的枢轴式转向架是考虑到了轨道表面的不平整性，而不是为了便于火车在转弯的曲线上运动。威廉·亚当斯（William Adams，1823—1904）获得了关于人们所熟知的四轮机车转向架（图171）的专利，并且在19世纪60年代首先应用在他为北伦敦铁路公司（North London Railway）设计的机车上。这种转向架的

1 一种装在机车或车辆的车架下面的枢轴式转向架。这是古老的诺森布里亚人所用的单词，指手推车（trolley）。

轴距做得相当长，以使机车运行平稳，枢轴可在一条横向的槽里移动，横向运动则通过一些斜面（后来改用弹簧）得到了控制。这样设计出来的转向架的性能极好，至今仍在全世界使用。径向转向架和轴箱可以用来代替亚当斯转向架，但使用效果远远不如亚当斯转向架，尤其是在高速行驶的情况下。

然而，那种可绕后部一根轴销做辐射状摆动的比斯尔转向架（Bissell truck），却受到了许多设计者的喜爱。四轮的比斯尔转向架的外表很像真正意义上的转向架，在蒸汽时代被大量用于伦敦地铁。19世纪末期，一种具有较长轴距的比斯尔转向架被韦布（Francis Webb）用在了伦敦和西北铁路公司的铁路线上。韦布是一个具有独创性但很固执的人，他极不喜欢一般的转向架，也从不想在机车下面装上一台这样的转向架。由于径向轴箱的寿命较短，布里奇斯·亚当斯制造了一种在中速情况下令人满意的轴箱，而且北伦敦铁路公司一辆装了这种轴箱的机车运行了大约90年。

一般来说，一台真正的机车转向架可以被描述为一种枢轴式车架，它有两根支承轴，车轮都是同样的直径。19世纪末期，慕尼黑克劳斯工厂（Krauss works）的经理兼总设计师亥姆霍兹（von

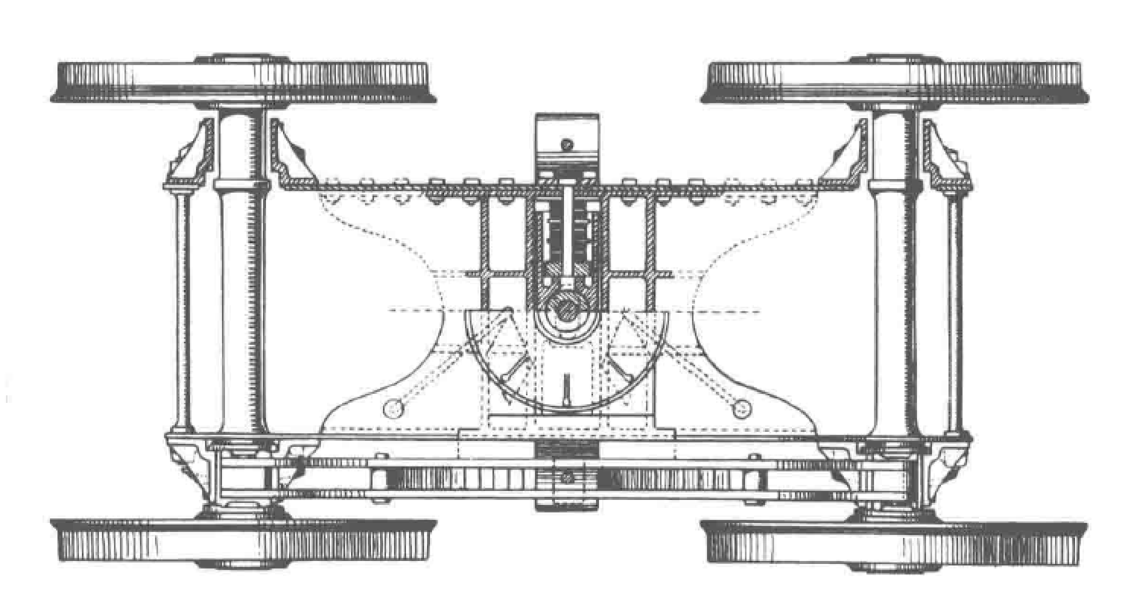


图171　威廉·亚当斯于19世纪70年代后期为大东部铁路公司(Great Eastern Railway)设计的转向架的俯视图，它是用橡皮弹簧来对横向滑动的枢轴进行侧面控制的。

Helmholtz）制造了一种转向架，它既有单独的支承导轴又有联动导轴，连杆还留有恰当的间隙。此后，这种克劳斯－亥姆霍兹转向架在欧洲大陆的各个国家得到了广泛采用，甚至被几个国家强制安装在所有用于客运或其他快运服务但没有安装四轮亚当斯转向架的机车上。不过，克劳斯－亥姆霍兹转向架从来没有在英国使用过。

336

领导着伦敦和西北铁路公司克鲁站的拉姆斯博顿（John Ramsbottom）造出了两种著名的辅助装置。一种是安全阀，用以防止为得到高压力而不顾一切压下控制杆所造成的危险后果。另一种是水槽，机车可在高速运行时从中取水装满水箱。他的安全阀得到了普遍使用，一直持续到进入20世纪之后的很长一段时间。这是一种非常简单的装置，阀门在两根柱子的顶端，压力通过一根杠杆由阀门之间的一根公共弹簧施加。拉姆斯博顿首先在切斯特－霍利黑德铁路上引入水槽和煤水车上的取水装置，以便让十分重要的爱尔兰邮政局列车不必在克鲁以北停下来加水。它们被推广到英国的许多铁路上，但在英国以外很少有人采用，除了在美国东部的某些铁路和法国西部铁路公司（Western Railway of France）。

19世纪后期是在阀门和曲柄连杆阀动装置的设计上进行实验和革新的时期。滑阀一直为人们所普遍使用，尝试制造活塞阀还为时过早，但是各种各样的辐射式曲柄连杆阀动装置已经被设计出来。最成功的辐射式曲柄连杆阀动装置由比利时的华尔夏茨（Égide Walschaerts）发明和研制（图172），为英国以外的许多国家采用。过了许多年以后，英国的铁路公司才接受华尔夏茨的曲柄连杆阀动装置（除了个别的情况），大量用在为出口而制造的机车上。如今，它已经是英国国有铁路公司蒸汽机车上标准的曲柄连杆阀动装置。

华尔夏茨的曲柄连杆阀动装置在结构上非常不同于以往的连杆传动机构，这一点足以使维多利亚时代的机车工程师对它持谨慎态度。

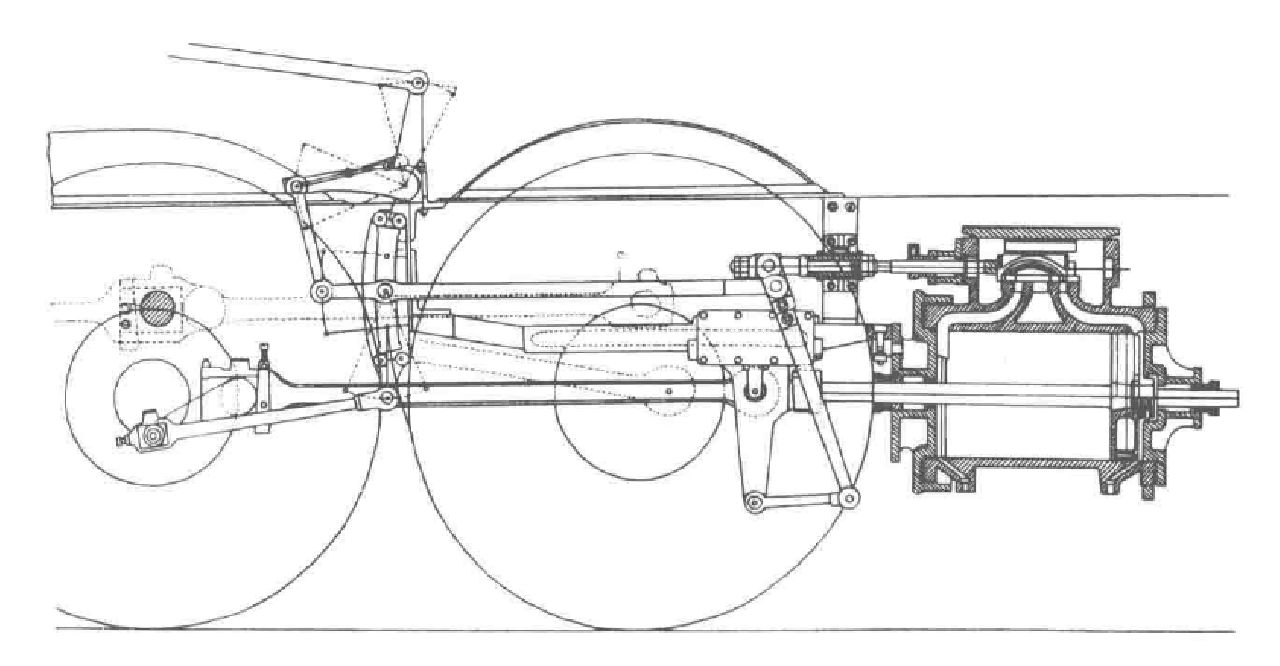


图 172 华尔夏茨的曲柄连杆阀动装置，于 19 世纪中叶诞生于比利时。作为一种最令人满意的曲柄连杆阀动装置，它是现今英国国有铁路公司的标准型阀动装置，而且用在了全世界的铁路上。其偏心运动是靠在主动轮曲柄和大端外侧的一根偏心曲拐来实现的。

它的偏心运动是靠每侧单独的一根偏心曲拐来实现的，所附的插图显示了它的结构，不论连杆处于什么位置，连杆和十字头上的联合杆总是给出恒定的提前量。在较老式的连杆传动机构中，这个提前量从全开状态到中点位置是逐渐增加的。华尔夏茨曲柄连杆阀动装置的家族中，还包括德国人瓦尔德格（Heusinger von Waldegg）的阀动装置（图 173）和某些美国人发明的类型。

乔伊（David Joy）的曲柄连杆阀动装置（图 174、图 175）是 19 世纪后期出现的另一种辐射式阀动装置。不同于华尔夏茨的曲柄连杆阀动装置，它在那个年代被大量用于某些英国铁路，尤其是伦敦和西北铁路公司以及东北铁路公司（North Eastern Railways）的铁路。它的弱点是要在连杆上钻一个孔，当它用于较大型的蒸汽机时，这一弱点就会令人不安地凸显出来，曾经在运行时因连杆断裂而发生一些严重的故障。

在蒸汽机车上采用复胀式工作原理，是英国和其他国家的工程师长期以来都想达到的一个目标。然而，与船舶蒸汽机和固定式蒸

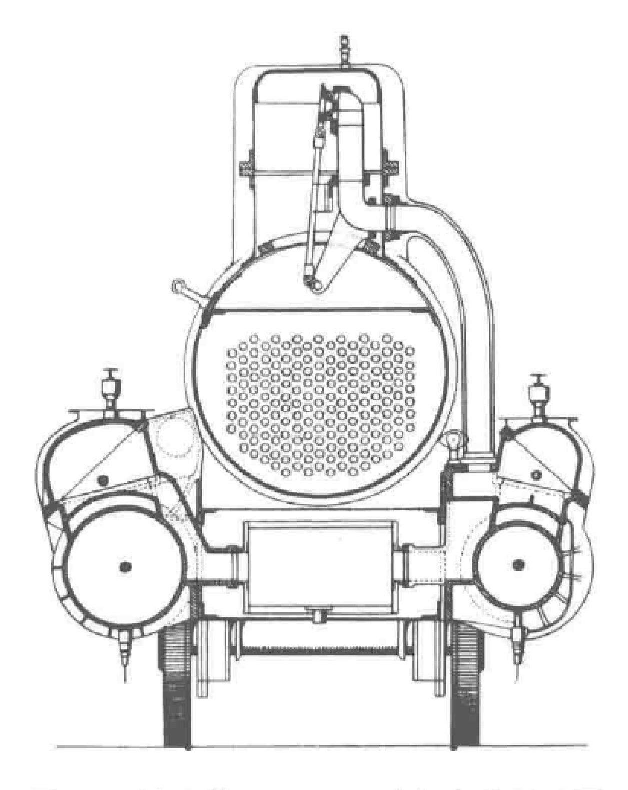


图 173　博里斯 (von Borries) 式机车的剖面图 (从后部看去)。图中显示出了调节器、高压蒸汽管道、高压汽缸、储气筒及低压汽缸。其曲柄连杆阀动装置是瓦尔德格型的，这是华尔夏茨阀动装置的一名近亲 (参见图 177)。

汽机相比，铁路蒸汽机却是慢慢地采用这个原理的。早在 1850 年，东部郡铁路公司的尼科尔森 (John Nicholson) 就设计了一种"连续膨胀"式机车，它有一个高压汽缸和一个低压汽缸。但是，这种机车不同于后来真正的复胀式机车，因为它只是先让蒸汽进入高压汽缸，然后在两个汽缸里膨胀做功。

采用复胀式的目的是充分利用供应量给定的蒸汽，以节约燃料。它于 19 世纪在英格兰最全面彻底的应用，是由韦布在伦敦

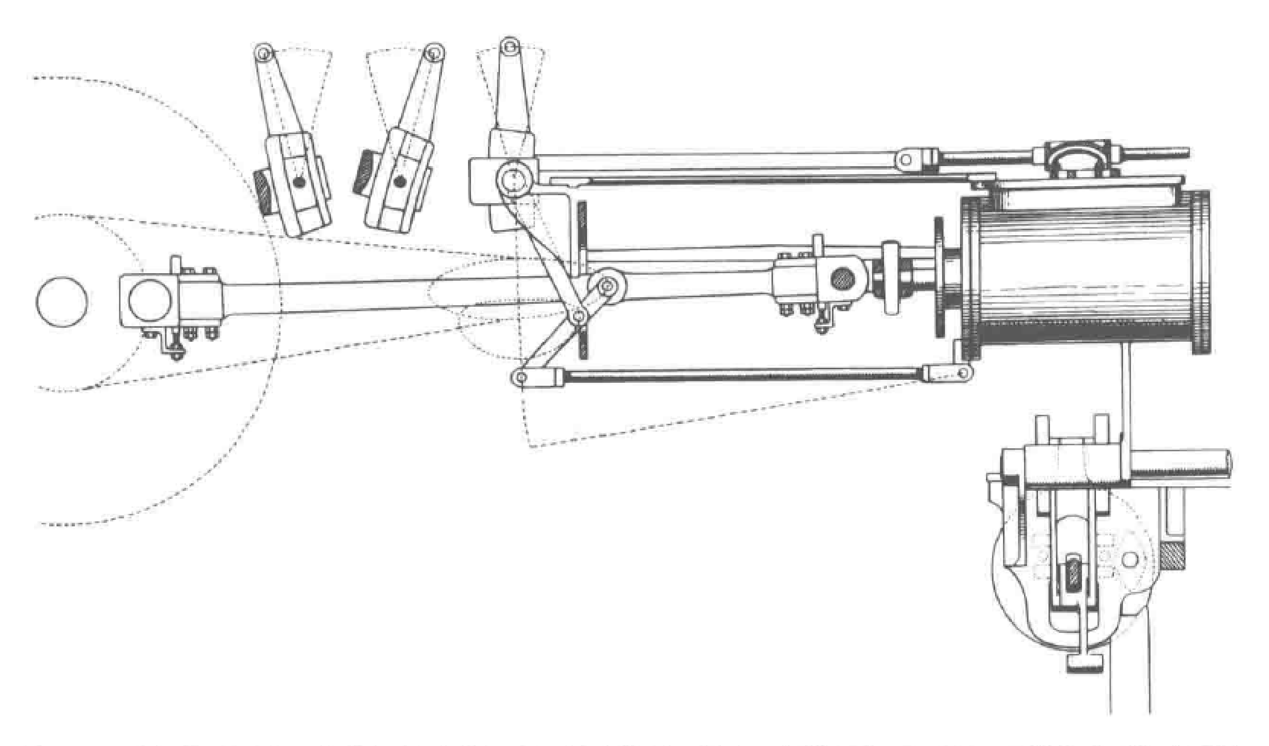


图 174　乔伊的不用偏心轮的辐射式曲柄连杆阀动装置，是为一辆将阀门置于汽缸顶端的美国机车设计的。此图显示了其偏心运动是怎样靠一根穿过连杆上近小端处的轴销实现的，这种结构用于大型蒸汽机时将变得十分脆弱。

和西北铁路公司的铁路线上实现的。最常见的韦布式复胀式机车内外侧有两个高压汽缸，以驱动后轴，内侧是一个单独的大型低压汽缸，以驱动中轴，两对主动轮是非联动的（图 175、图 176）。它采用乔伊的曲柄连杆阀动装置，通过低压汽缸的连杆运动使高压汽缸阀门启闭。但是，后来的样机有一个位于内侧的滑动偏心轮，当蒸汽机的高压部分因被反向注入蒸汽而反向运动时，它会自动地做出一个与此相应的倒转动作，不过有时它会失灵。这种蒸汽机最初并不稳定，不过后来的机器能够运行得很好，被制造了数百台。经过改进的韦布式复胀式蒸汽机有 4 个汽缸，用了联动轮，它们通常很可靠，但速度缓慢，而且维护费用很高。

338

19 世纪 80 年代用于东北铁路公司铁路线的沃斯德尔（Thomas Worsdell）的双缸复胀式机车（图版 21B），沿用了德国人博里斯的系统，它有一个高压汽缸和一个低压汽缸，而且都在内侧（图 173、图 177）。这种机车比韦布的机车要可靠得多，但不如在这条铁路和其他铁路上运行的各种单胀式机车。在中欧和北欧，博里斯的复胀式机车令人满意地运行了很多年。这里应该提到两个相关的情况。第一，英国机车的标准横向尺寸非常严重地受到高站台的限制，德国和其他

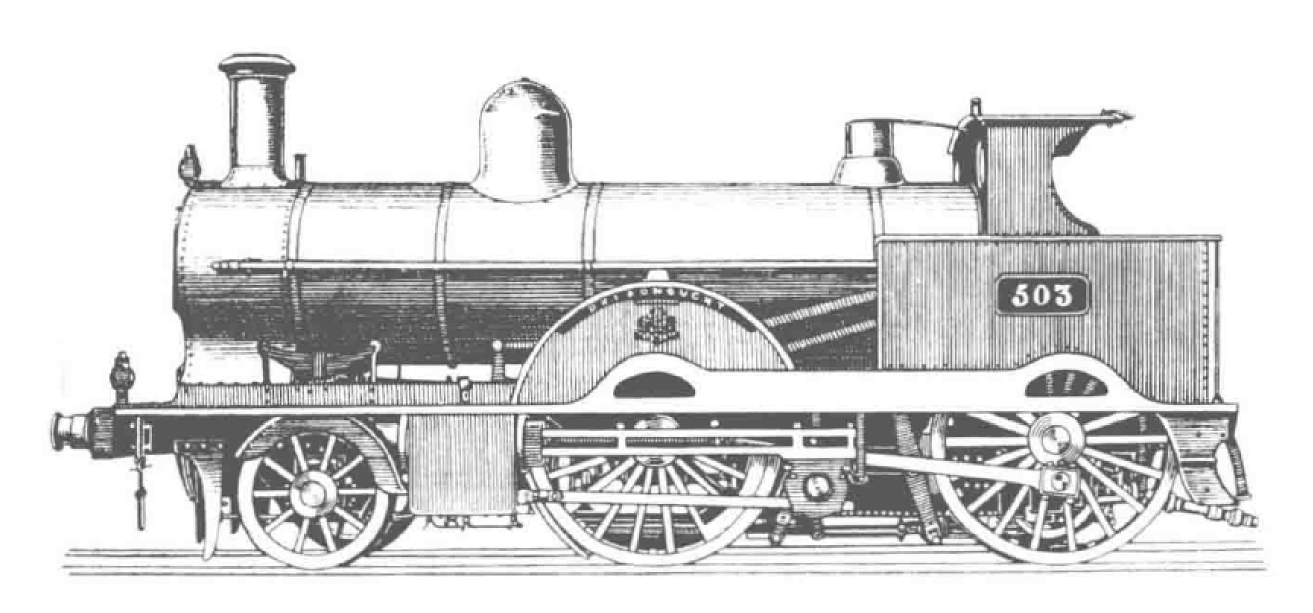


图 175　由伦敦和西北铁路公司的韦布设计的三缸复胀式快速机车的立视图，1884 年。它在外侧设有乔伊的辐射式阀动装置，用于高压汽缸（参见图 176）。

欧洲大陆国家的设计师们相对来说则有很大的选择余地。第二，当英格兰的机车以缓慢而出名的时候，德国规定的火车速度却无一例外都是中速，瑞典和爱尔兰的情况也是如此，博里斯的复胀式机车在那里运行了许多年。

在19世纪，英国还有一种具有重要历史意义的复胀式机车。这是一辆东北铁路公司的机车，在1898年按照史密斯（W. M. Smith）的系统从一辆沃斯德尔双缸复胀式机车改造而来。它有一个位于内侧的高压汽缸和两个位于外侧的低压汽缸，这是一种与韦布的机车完全相反的布局。此外，轮子是四联动轮，所有3个汽缸都驱动联动导轴。在这种史密斯式机车中，用一个减压阀让锅炉蒸汽同时进入高压蒸汽室和低压蒸汽室，这样在启动时，它就会像三缸单胀式机车那样工作，具有相当大的牵引力。这个减压阀由一个弹簧式调节阀控制，机车上路后就转为复胀式运行。可以让它一直以"单胀式"运行，当然，也可以在情况紧急时改用"单胀式"，或者在遇到负载或坡度等方面的严重情况时以"半复胀式"运行，方法是动一下调节阀的弹簧。

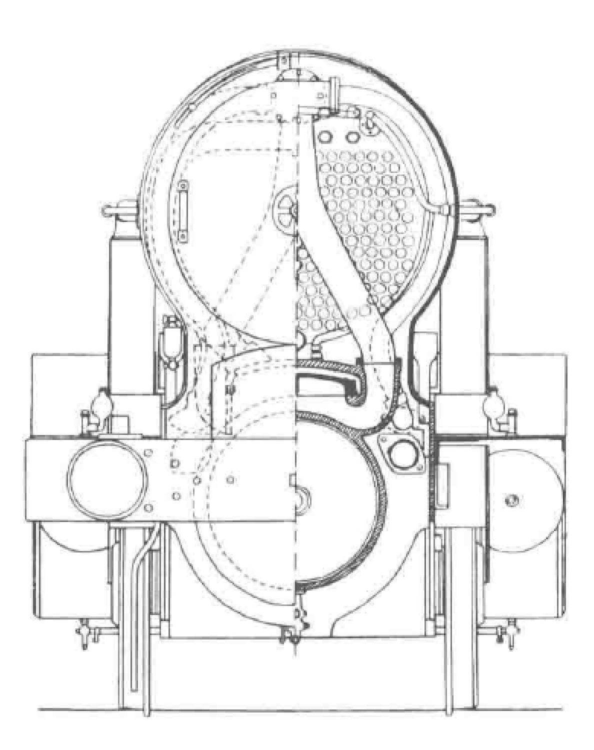


图176　韦布的三缸机车的剖面图，1884年。此图显示了高压汽缸的结构，蒸汽室和阀门在汽缸底下，那个单独的超大型低压汽缸位于车架之间。为这个大汽缸供汽的低压储气筒是由烟室中的一些大管子构成的，为的是使蒸汽在通往低压蒸汽室的途中变干燥（参见图175）。

史密斯的三缸复胀式机车由约翰逊（Samuel Johnson）在内陆铁路公司的铁路线上采用，并由迪利（Richard Deeley）在同一系统的基础上加以改进。在内陆铁路公司的铁路线上，它成了所有英国复胀式机车中最成功的机车。

直至20世纪20年代，人们还制造了大量样机，它们显然十分轻易地带动着很重的列车。和内陆铁路公司当年要求原型机牵引的列车相比，这时的列车要重得多。

在英国以外的国家，复胀式机车的许多设计成功地得到了实现。值得一提的是运行在奥匈帝国若干条铁路上的格尔斯多夫（Gölsdorf）机车，它在波希米亚平原、蒂罗尔和卡林西亚的山区那样变化多端的条件下，也能非常令人满意地工作。美国的沃克莱恩（Vauclain）系统也是应该提到的，它有4个汽缸，全部位于外侧，高压汽缸和低压汽缸成对叠置，通过一个公共的十字头驱动着每侧单独的一根连杆。一大堆双重往复部件的尺寸和重量，成为它在机械上的缺点。这种结构专门用于19世纪90年代美国的一种十轮大型机车，比如美国东部各州所用的大西洋型机车。对慢速重载机车而言，它的缺点没有那么严重。串列复胀式机车也存在同样的不利条件，每对高压汽缸和低压汽缸都有一根公共的活塞杆。在美国和欧洲大陆，人们制造过样机，但3台这种类型的英国实验性机车都没有获得成功。

340

在机车的复胀式系统中，没有比德格伦（de Glehn）的系统更幸运的了。它在世界上许多地方曾一度被采用，在法国取得了显著的成功。北方铁路公司（Northern Railway）的这种四缸德格伦机车，源自19世纪80年代的一种实验性机车。在法国，到20世纪早期，这些机车成了当时世界上运行最优秀的快速机车。实际上，法国在许多年里一直是复胀式机车的主要故乡，就像普鲁士是烟管过热器的诞生地一样。接下来，后者应该引起我们的注意。

使用“干燥”蒸汽的想法长久以来吸引着机车专家们的兴趣，早期通常是对烟室里的蒸汽管道进行改造。在烟室里安置一个新汽室，并让烟管穿过这个新汽室，1840年就在霍索恩兄弟（R. and W. Hawthorn）为纽卡斯尔和北希尔兹铁路公司（Newcastle and North

Shields Railway）设计的一辆机车上实现了，但人们对“烧烤”蒸汽的努力尝试进行得比这还要早。然而，直到19世纪末期，卡塞尔的施密特（Wilhelm Schmidt）才进行了一些关于真正过热方法的实验，这些方法在接下来的半个世纪里影响着锅炉的设计。在英格兰，阿斯皮诺尔（John Aspinall）研制了一种高效的烟室蒸汽干燥器，但是由施密特的灵感所产生的过热器完全与此不同。非常简要地说，它的原理是把从汽室或是从无汽室锅炉中一根多孔集汽管中出来的蒸汽管，通到一个联管箱中，新汽管道在此分裂成大量小直径的发夹管，每根发夹管都通入一系列加粗的烟道，然后从这些烟道出来，进入第二个联管箱，蒸汽继续流向蒸汽室。这个设计是在19世纪构想的，优点在20世纪得到证实，但它在英国的应用却很迟缓。值得提到的是施密特系统的英国改进型，包括丘奇沃德（Churchward）的“斯温登”（Swindon）过热器、鲁滨逊（Robinson）的过热器和尤里（Urie）的“伊斯特利”（Eastleigh）过热器。

341

然而，1900年的典型机车是用饱和蒸汽来运行的。在所有国家中，这种机车比它在19世纪中叶的样子大许多倍。1884年，欧洲第一台六联动转向架式快速机车在北意大利铁路公司（Upper Italian

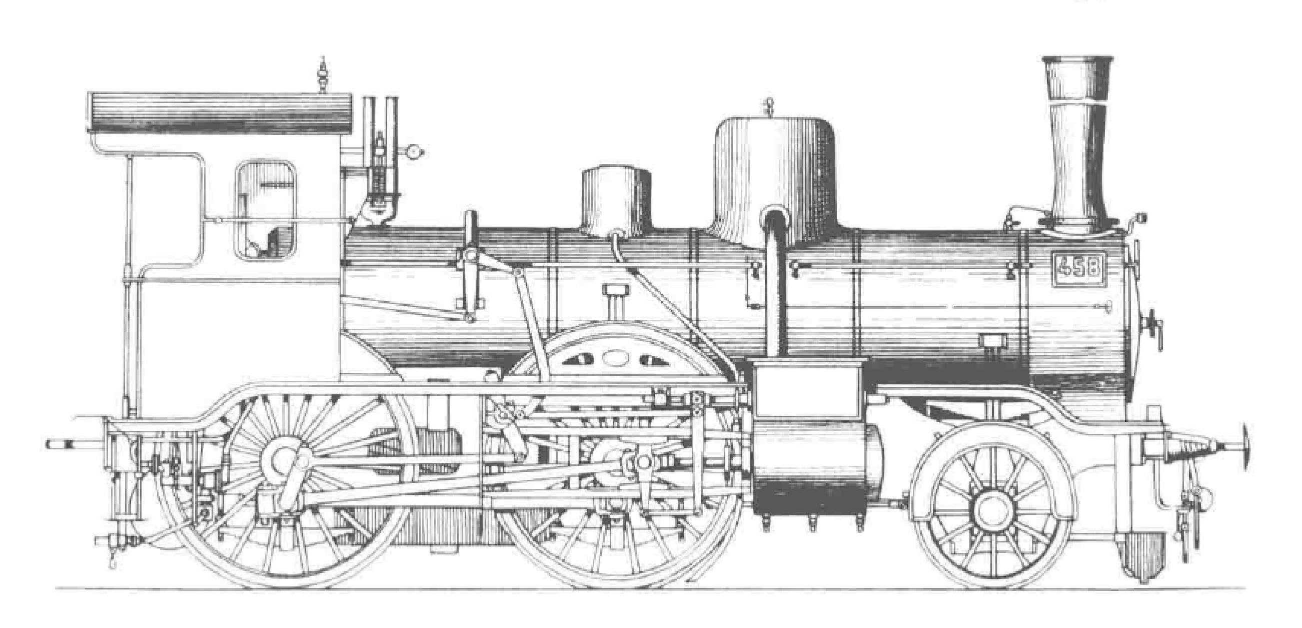


图177 一种博里斯的双缸复胀式机车的立视图，这种机车用于普鲁士国立铁路公司（Prussian State Railways）的汉诺威铁路线。约1885年（参见图173）。

Railway）出现。在琼斯（David Jones）的导演下这种4-6-0式机车在高地铁路公司（Highland Railway）首次登上英国的舞台。但是，除了关于锅炉功率与汽缸容量的适当比值的一个新概念，加上比以前高得多的工作压强和各种各样值得称赞的辅助装置外，机械机车几乎没有什么进步。从伦敦和西北铁路公司的麦康奈尔的“布卢默女服号”（*Bloomer*）机车，到苏格兰铁路公司（Caledonian Railway）的麦金托什（McIntosh）的“杜纳拉斯泰号”（*Dunalastair*）机车，中间相隔了大约40年时间。然而，把“杜纳拉斯泰号”描述为一辆装有联动轮和亚当斯转向架的巨型“布卢默女服号”，不是完全没有道理的。19世纪90年代由布坎南（William Buchanan）设计的纽约中央铁路公司（New York Central Lines）的那些壮丽宏伟的机车，与在19世纪60年代中期帮助谢尔曼赢得佐治亚战役的机车基本上属于同一类型。1900年的法国机车大量采用着克兰普顿的技术，哈斯韦尔和霍尔则在奥匈帝国有着持久的影响。

15.6 铁路车辆

在所有国家中，机车尺寸的增大源于所运货物数量和所载旅客人数的增多，以及舒适标准的改进所导致的人均客车厢重量的增加。

在1850年，英国和其他西欧国家的头等客车仍然是贝洛克（Hilaire Belloc）所描述的那种类型，如同把3辆公共马车的“内部”粘在一起放在一个车架上。图178显示了大西部铁路公司的一种较大类型的旅客车厢，它有四个隔间。低等级的旅客车厢比较轻，运载的旅客也较多。它们一般都有4个轮子，特殊的则有6个轮子。那根多加的车轴和一个多设的隔间，是头等旅客车厢的必备条件。装有邮袋交换设备的流动邮政车厢，早在1838年就由大枢纽铁路公司（Grand Junction Railway）完成了引进。美国到很晚才采用这种邮政车厢，那是在19世纪60年代。

除了一些样子古怪和少数特殊的车辆，用于英国干线客运服务业的第一批八轮客车厢是某种宽轨混合式车厢，被称为“长查利斯”(Long Charleys)，由大西部铁路公司在1852年制造。然而到了20年之后，八轮客车厢仍然很少见。美国自19世纪40年代起就制造长车身客车厢，这种车厢有8个轮子，装有转向架，通道设在中央。从某种程度上来说，这种美国式客车厢的车身设计源于一种运河轮的统舱，欧洲式客车厢则来自英国或法国的公共马车。美国客车厢之所以使用转向架，是因为美国的铁路铺设方法非常粗糙，车身短、行动僵直的车辆经常出轨。通过美国的影响，这种长车身的转向架式车厢很快就在俄国铁路得到了普遍应用。

342

由于铁路线路很长，俄国和美国都必然比其他国家更早使用

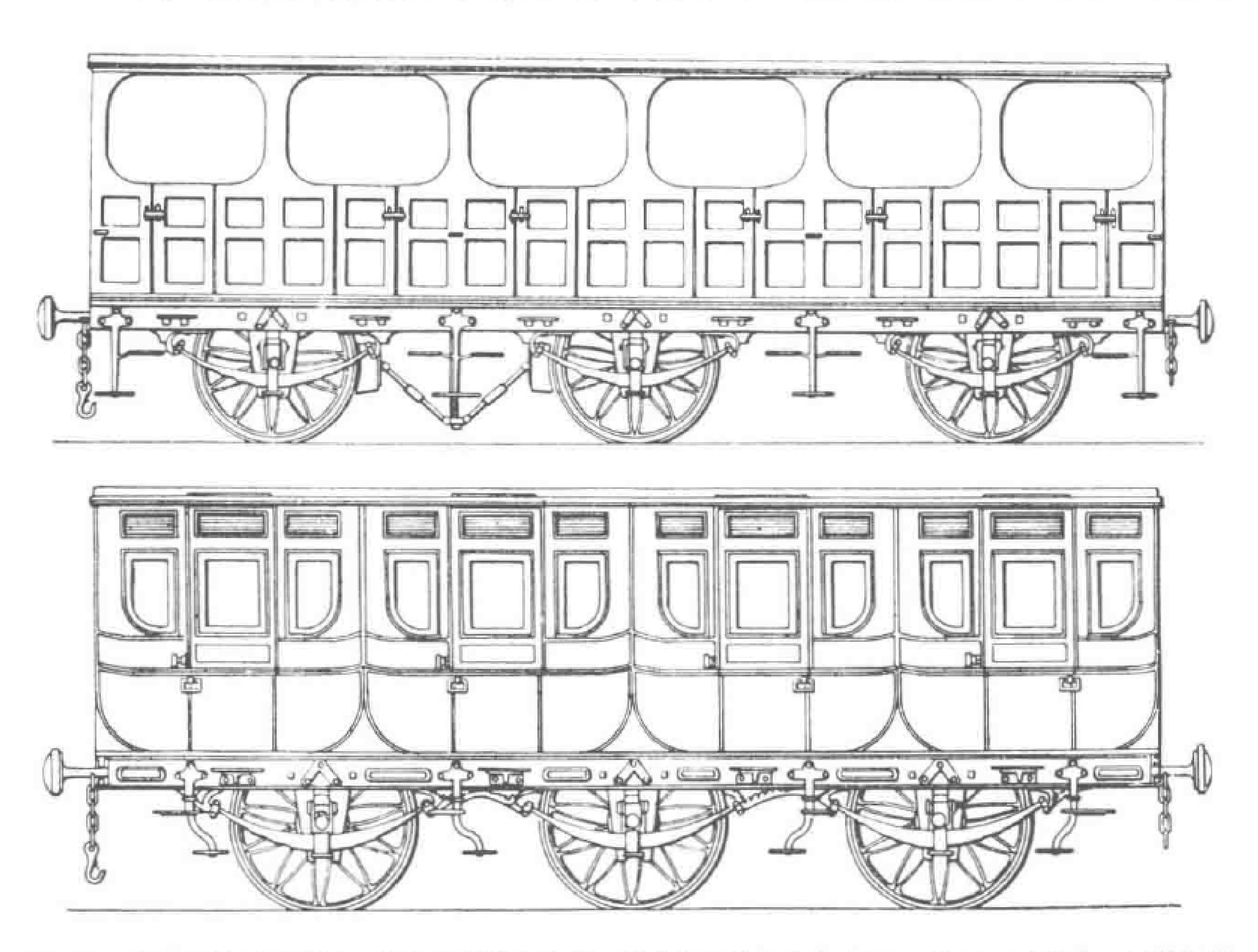


图178 大西部铁路公司的二等和头等旅客车厢，适合的轨距为7英尺0.25英寸，1839年。二等车厢虽有车顶，但腰部以上是敞开的；车厢内设有一个制动员座位，配有一个通过肘节机件操作的手刹车。这辆头等旅客车厢是当时铁路车厢设计起源于乔治王朝时期马车制造业的一个例证。各隔间的内部高度略大于6英尺。

卧铺车厢。俄国的卧铺横向设置，过道设在一边。在美国普尔曼（George M. Pullman）经典的卧铺车厢里，卧铺则纵向设置（图版 20B、图版 20C）。这两个国家都见证了盥洗室（或至少是与此相当的设施）最早在普通长途列车上的普遍安装。在结构上，这些盥洗室类似于18 世纪一种船舶上的“船头沟坑式解手处”。1873 年，北不列颠铁路公司制造了第一辆卧铺车，它有两个卧室，每个卧室里设置了三张纵向的卧铺。

餐车是 1867 年在加拿大出现的，到 1879 年就已经传播到了英国。在英国，无论是“雅座”式的还是卧铺式的，进口的美国普尔曼客车从 1874 年起就在使用。到 19 世纪末期，英国的卧铺车已经极其多样化，既有舒适的家庭客厅式车厢，也有缩小了的美国普尔曼客车，还有提供一种轮船上特等舱的改造型客车。然而，作为接下来半个世纪甚至更长时间内标准样本的客车，1894 年出现在东北铁路公司的铁路线上。这是一种单边走廊式的单层铺隔间卧铺车，它目前仍然是英国和欧洲大陆标准的头等卧铺车厢（图 179）。

1882 年，大北方铁路公司（Great Northern Railway）制造出了将成

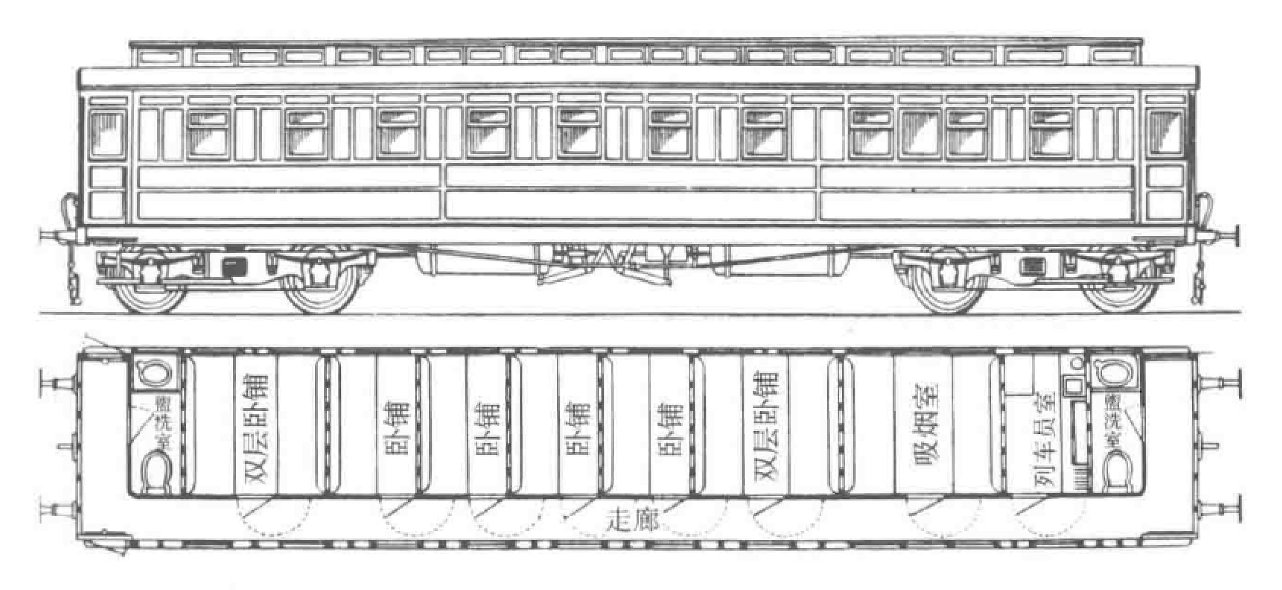


图 179　由东北铁路公司制造的一种卧铺车厢的立视图和平面图，1894 年。它有 5 个单层铺隔间、2 个双层铺隔间和 1 个吸烟室；经过车厢端头的通廊和车厢一侧的走廊，可以进入这些隔间。它是现在英国标准卧铺车厢的前身。车身完全是用木材制造的，并设有煤气灯和车顶天窗。

为后来英国标准型的客车。这是一种已经运行在奥地利的客车的小型化版本，它的隔间由一条单边走廊相连，两端设有盥洗室。1891年，英国最早的完全连通的单边走廊式列车几乎同时出现在大东部铁路公司和大西部铁路公司的铁路线上。大西部铁路公司的列车更为气势不凡，也更接近“现代化”，不过大东部铁路公司的列车更加令人满意，因为它为所有等级的乘客提供膳食。

这一时期的所有客车厢都是木制的，通常在车顶设有天窗。照明一般是用植物油或压缩石油气。世界上第一辆电气照明客车是1881年运行在布赖顿铁路线上的一辆进口的美国普尔曼客车。这种客车上装设了斯旺（Swan）的白炽灯，由一个大型的福尔（Faure）蓄电池组供电。普尔曼客车一般是用烧煤油的阿尔甘灯（Argand lamp）来照明的，这种灯的照明效果很好，但是像煤气灯一样，在遇到意外事件时可能高度危险。1896年，斯通（J. Stone）获得了用于列车的电气照明系统的专利，它是用一台装在客车底下的皮带驱动式直流发电机供电的。很快，这种装置就被爱尔兰的大北方铁路公司采用了。

344

客车舒适程度的一般标准在很长一段时间里保持不变，但在1875年，内陆铁路公司的克莱顿（Thomas Clayton）为所有等级的乘客都提供了软座，英国的其他铁路公司被迫跟着仿效。在英国以外，木制的三等客车在欧洲大陆一直被保持着，法国某些三等客车的硬革座席和北美“座席客车”的可翻转座显示出舒适性的最大特点，后者还不无浮华地装饰了长毛绒。所有国家都有它们的特等车厢，但在1900年，和英国快速列车相比，没有一样陆上交通工具能够为所有等级的乘客提供更为舒适的条件。

这一时期，货运车辆的进展微乎其微。北美采用了庞大的双转向架式货车，欧洲则用一种小型的四轮货车来运载货物，这种货车的后代今天仍与我们同在。美国已经采用了自动中央车钩，整个欧洲的铁

路干线就像其中大多数铁路现在所做的那样，依赖于螺杆式车钩和侧缓冲器，这些连接机构可追溯到19世纪30年代。

长期以来，列车的制动系统一直让人感到困扰，曾经设计了各种形式的连续制动器，有手动的，也有动力驱动的。但是，完善的列车制动装置不仅应该是连续的，而且应该是自动的。到19世纪80年代后期，威斯汀豪斯（Westinghouse）的美国式自动空气制动机（图180）和自动真空制动机通过了测试和检验。在1875年6月的纽瓦克制动机检验赛（Newark brake-trials）中，前者使内陆铁路公司的一辆重达203.2吨、以52英里时速运行的列车，在913英尺的距离和19秒钟的时间内停住。然而，直到1889年在阿马附近发生了一起使舆论哗然的重大事故之后，英国所有的铁路公司才被强制采用既能避免失控又能防止脱轨的自动连续动力制动机。这种制动机不仅便于在紧急情况下迅速停住列车，还能大大改善快速列车的速度调节性能。

1888年和1895年举行的两次从伦敦到苏格兰的列车运行公开赛，促使人们寻求更快的调速性能。第一次突然举行的“车赛”有一个令人不可思议的特点，那就是参赛的一些机车已经有相当长的役龄。阿伦斯（E. L. Ahrons）把这些老机车的性能改进归因于采用了钢制轮箍，而且确实有一些这方面的证据。特别是当时的内陆铁路公司，让可以追溯到19世纪60年代的老式柯特利机车表现出了令人惊奇的性能水平。然而，与美国人相比，英国人不怎么信赖钢。19世纪80年代，德拉蒙德在苏格兰铁路公司试用了钢制的火箱，但是铜仍然为英国的机车工程师们所偏爱。

在结束我们关于机车设计的综述时，应该把注意力放到几种关节式蒸汽机车上。19世纪60年代，费尔利（Robert Fairlie）获得了一种采用双锅炉的双发动机机车的专利，它的两端各由一个自动转向架支承。这种机车不仅功率强大，而且灵活，但是速度慢，最成功的

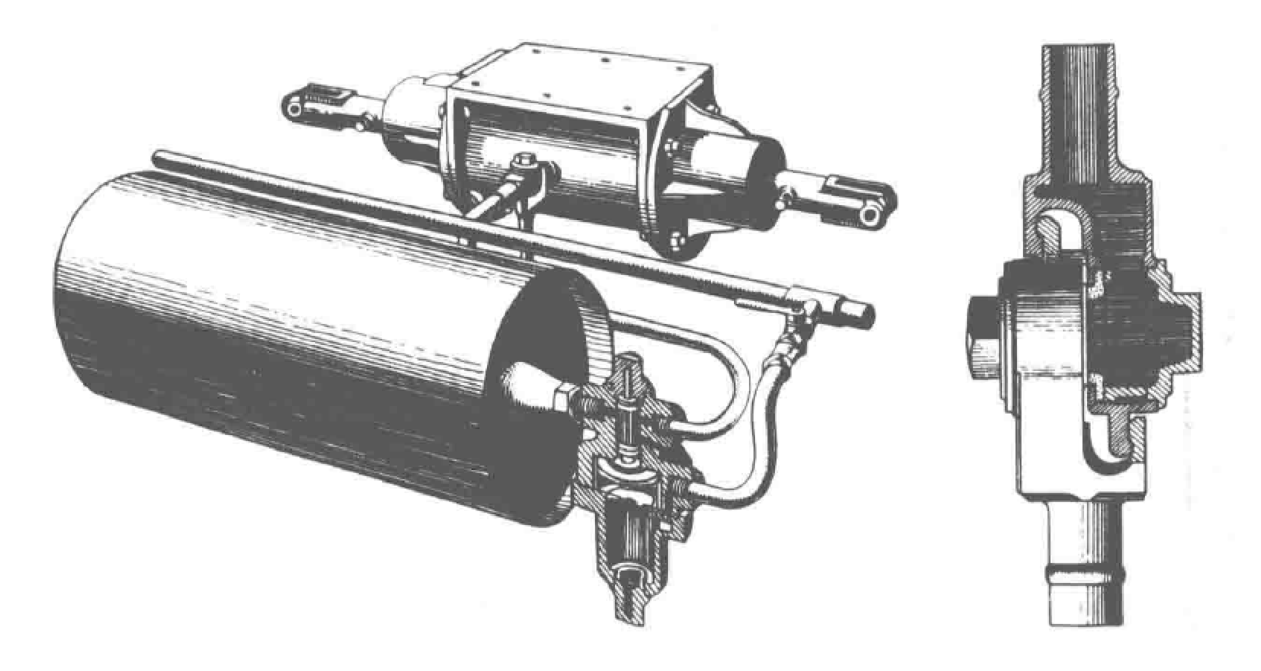


图 180 威斯汀豪斯的自动空气制动机，一种早期用于铁路客车的装置。左图是储气筒、阀门和列车闸管接头，其上方和后方是制动机汽缸。右图是尺寸放大了的列车闸管中的一个挠性接头。

应用是在墨西哥铁路公司的山区路段。法国的马莱(Anatole Mallet)设计了一种复胀式机车，它也有两套联动轮，尺寸是一样的，但是前面的那套车轮构成了一个长转向架，一套车轮用高压蒸汽，另一套用低压蒸汽。这种机车在法国和德国得到了某种程度的采用，在科西嘉和哈茨山这些地方的窄轨铁路上最为成功。相比起来，它在美国得到了主要应用，马莱的关节式复胀式机车和单胀式机车运行在为东部煤田服务的铁路线上，也运行在远西地区的锯齿山脊区中，一直延续到现在。

在建设塞尼山隧道期间，铁路是在越过山口的拿破仑军用公路上用一种专利权属于费尔(J. B. Fell)的轨道来设计的。在使用这种轨道时，机车上水平设置的驱动轮要紧紧地抓住一根侧转铺设在中央的双头轨。在新西兰的里穆塔卡(Rimutaka)斜坡，这个运行方式一直使用到最近为止。但在马恩岛的斯内山铁路上，它仍然被用来制动。大多数陡峭山区的铁路采用了一种齿条齿轮装置，其中一种被称作里根巴赫(Riggenbach)装置，是把机车上的正齿轮啮合到轨道间的一根梯状钢齿条上。它发明在19世纪60年代，1871年在瑞士的维茨瑙-

346

里吉山铁路上第一次得到重要的应用。它目前仍然在这个山区使用着，不过近年来采用了电力牵引。阿布特（Abt）齿条装置具有同样的效能，是由两条带齿轨道和用于牵引和制动的双正齿轮构成的，两条轨道靠得很近，所带的齿呈交错排列。

15.7 地下铁路和电气铁路

在伦敦的黏土层中修建隧道相对比较容易，于是人们在19世纪90年代修建了一些新的深层地铁，以减轻地面上和地表下的交通拥堵状况。只有电气牵引技术发展到了令人满意的程度，这样的尝试才有可能进行。世界上第一条实用的电气铁路是1879年在柏林的一次展览会上演示的一条小型铁路，一辆西门子－哈尔斯克公司（Siemens & Halske）的小型机车拖着一列设有背靠背座椅的车厢，在这条铁路上，绕着展览馆周围的场地运行，德国的试验性电车运输系统随之出现（图181）。1883年，英国才开通了第一条电气铁路，它位于布赖顿的海滨，由沃尔克（Magnus Volk）建造并经营，目前仍在使用。紧接着，在爱尔兰又建成了波特拉什巨人岬和布什河谷电车公司（Giant's Causeway，Portrush，and Bush Valley Tramway）部分电气化的运输线，这是世界上第一条用水轮机发电供电的电气铁路。

347

更为重要的是1887年至1890年伦敦城和南伦敦铁路（City and South London Railway）的建造，这是伦敦众多“地铁管子”中的第一条（图182）。南非的工程师格雷特黑德（J. H. Greathead）承担了这条线路的建设，他曾作为巴洛（P. W. Barlow）的手下，在1870年伦敦较小的塔山地下隧道（Tower Subway）的建设中获得了经验。这次地铁隧道的挖掘用了格氏盾构，随着盾构的向前推进，用铁制管片一环接一环地拼装衬砌，从而建成隧道。人们决定采用电力牵引，用的是500伏的直流电，并用小型四轮机车牵引一列设有3个车厢的列车。机车上装有一对串绕的电动机，每台电动机在转速为每分钟310转时产

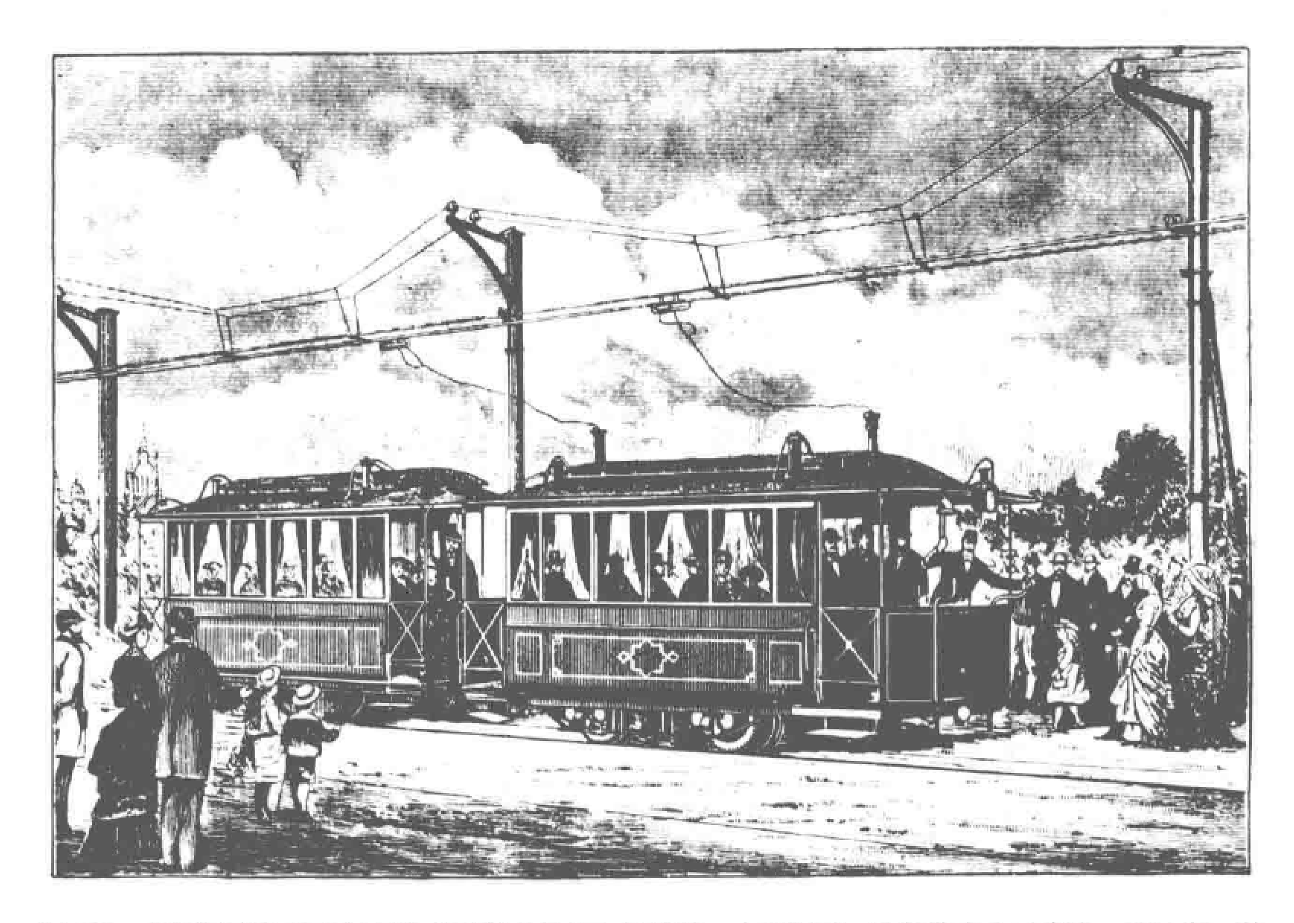


图 181　美因河畔法兰克福与奥芬巴赫之间的电气铁路，由西门子－哈尔斯克公司建造，1884 年。前车厢有一根单一的驱动轴，由电动机通过减速齿轮驱动。架空的导电线和回路线是用开槽的煤气管子做成的，其中的梭形滑块可沿着槽连续地滑动，滑块上带有向下伸出的凸耳，凸耳则由轻质框架和电缆连到车厢。

生 25 马力的功率，机车在速度为每小时 25 英里时总功率达 50 马力，电动机直接安装在车轴上。不过，还有另外一种设计没有被采用，那就是通过曲轴来进行边杆驱动。尽管缺乏先例和经验，这条地铁还是取得了显著的成功，在 19 世纪结束之前又建成了三条“地铁管子”，分别是滑铁卢和伦敦城铁路（Waterloo and City Railway）、中央伦敦铁路（Central London Railway）和格拉斯哥地区地铁（Glasgow District Subway）。格拉斯哥地区地铁一直使用缆索牵引，直到 20 世纪 30 年代中期为止。

电力牵引在城市铁路和地下铁路中显然具有优越性。最早对蒸汽铁路干线中的一段路线予以电气化，1895 年发生在巴尔的摩和俄亥俄铁路公司（Baltimore and Ohio Railroad）的卡姆登－韦弗利隧道

中。那是一条躺在巴尔的摩地底下的长度约为 4 英里的线路，人们采用了重型双电动机机车，而导线是架空的。架空导线和触轮早就在有轨电车线上出现了，但人们在巴尔的摩采用了一种更为坚固的形式。这种形式具有一根轻型悬吊式导电轨，机车通过单独一根斜装在一侧的集电弓与电轨接触。每台机车由两个安装在两根坚固的主动轴上的连接部分组成，这两部分则在驾驶室底下由铰链或枢轴相互连接，从而形成了一种 0-4-0+0-4-0 式机车。从表面上看，它并不是一项雄心勃勃的变革，采用这种形式的原因是消除这条长隧道里的烟雾，而这条隧道在当时承担了非常繁重的交通任务。尽管如此，这条巴尔的摩铁路仍然是世界上电气化铁路大干线的先驱。

电力机车的设计并不像蒸汽机车在 19 世纪 40 年代所经历的那样，

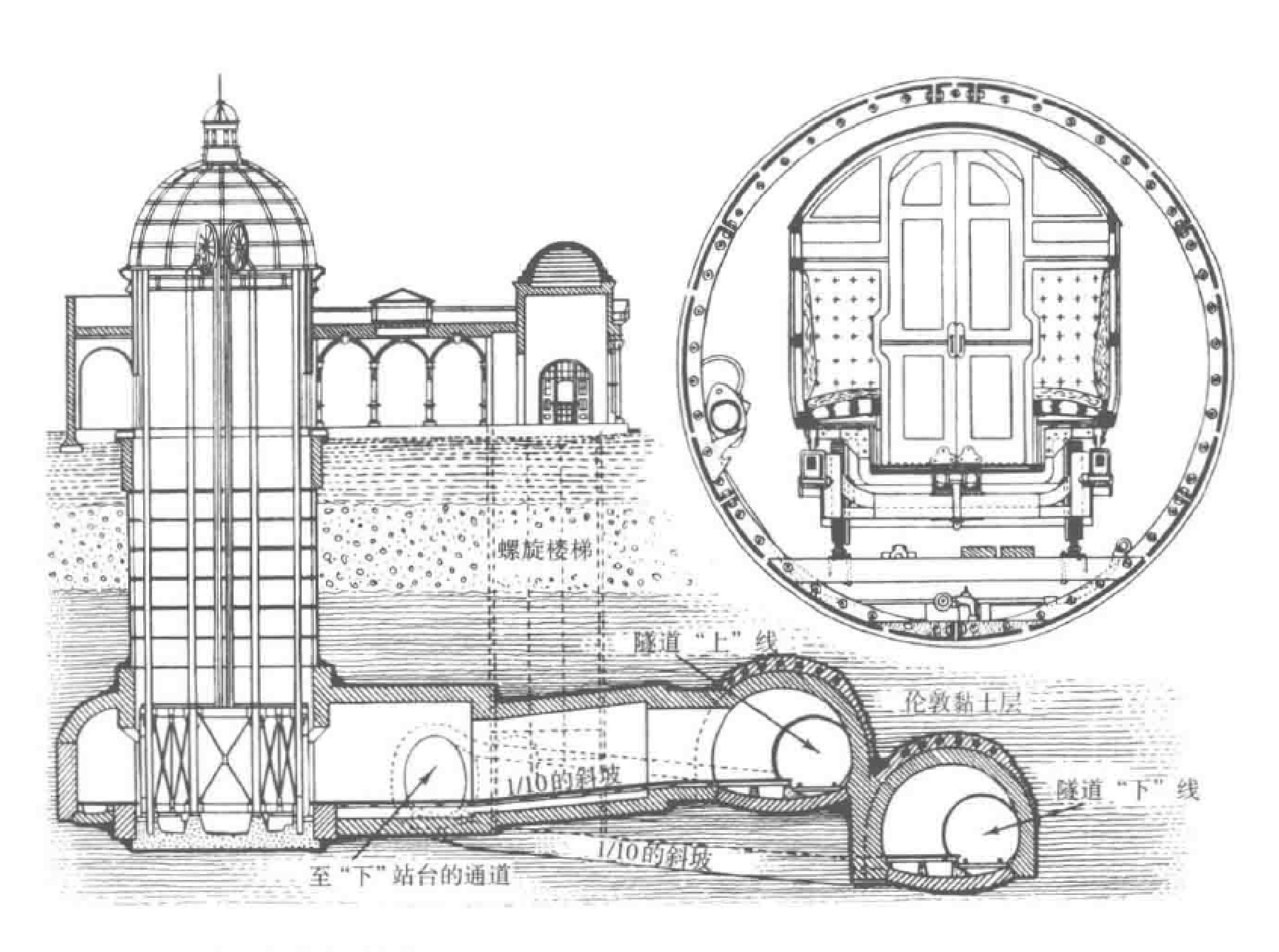


图 182　伦敦城和南伦敦铁路奥瓦尔 (Oval) 车站的剖面图，1890 年。这是世界上第一条使用电力的城市深层地铁线，其规模小于后来的地铁，隧道直径为 10 英尺 6 英寸。牵引采用小型电力机车，出入站没有水压升降机。右上方是隧道和旅客车厢的剖面图。

很快就具有了一种确定的形式。但是，鉴于双转向架式机车到现在还流行着，那就值得指出这种机车在19世纪即将结束时曾在中央伦敦铁路上使用过，尽管使用的时间很短暂。

参考书目

Ahrons, E. L. 'The British Steam Railway Locomotive 1825–1925.' Locomotive Publishing Company, London. 1927.

Idem. 'Development of British Locomotive Design.' Locomotive Publishing Company, London. 1914.

'Catalogue of the Centenary Exhibition of the Baltimore and Ohio Railroad.' Baltimore and Ohio Railroad, Baltimore. 1927.

Cooke, C. J. Bowen. 'British Locomotives.' London. 1893.

Deakin, W. H. "Early History of Railway Signalling." *Proc. Instn Rly Sig. Engrs, Derby*, Session 1928–9, 22–43, 1930.

Ellis, C. Hamilton. 'Ninteenth Century Railway Carriages in the British Isles from the 1830s to the 1900s.' Modern Transport Publishing Company, London. 1949.

Forward, E. A. 'Railway Locomotives and Rolling Stock Exhibits at the Science Museum.' H. M. Stationery Office, London. 1931.

Helmholtz, R. von and Staby, W. 'Die Entwicklung der Dampflokomotive.' Oldenbourg, Munich. 1930.

Lascelles, T. S. 'The City and South London Railway.' Oakwood Press, Godstone. 1956.

Lee, C. E. 'The Evolution of Railways.' *Railway Gazette*, London. 1943.

Marshall, C. F. Dendy. 'Centenary History of the Liverpool and Manchester Railway.' Locomotive Publishing Company, London. 1930.

第一台客运机车，1808 年。

Idem. 'Early British Locomotives.' Locomotive Publishing Company, London. 1939.

Idem. 'Two Essays in Early Locomotive History.' Locomotive Publishing Company, London. 1928.

Moreau, A. 'Traité des chemins de fer.' Paris. 1899.

Nock, O. S. 'The Railway Engineers.' Batsford, London. 1955.

Shields, T. H. "Evolution of Locomotive Valve Gears." *J. Instn Loco. Engrs*, 33, 368–460, 1943.

Spooner, C. E. 'Narrow Gauge Railways' (2nd ed.). Spon, London. 1879.

Warren, J. G. H. 'A Century of Locomotive Building by Robert Stephenson and Co.' Reid, Newcastle upon Tyne. 1923.

Westinghouse Brake and Signal Company. 'A Century of Signalling. John Saxby, 1821–1913, and his Part in the Development of Interlocking.' Westinghouse, London. 1956.

Williams, A. 'Life in a Railway Factory.' Duckworth, London. 1915.

Young, R. 'Timothy Hackworth and the Locomotive.' Locomotive Publishing Company, London. 1923.

第16章 造 船

A. M. 罗布（A. M. ROBB）

16.1 第一批铁船

350

"让我们安下心来着手制造铁船吧。"这是克莱德塞德(Clydeside)的斯蒂芬(Alexander Stephen)在结束他1851年的日记时写下的话，显示了19世纪中叶造船业的发展势头。当时，这位木船制造业世家的第三代人，刚刚来到克莱德，他的家族在苏格兰东部从事木船制造业已达一个世纪之久。然而，随着铁的应用开始在造船业中迅速推广，造船技师斯蒂芬把他的活动范围扩展到了西部，因为在这里很容易得到这种新材料[1]。

然而，铁在造船业中的应用并不是从克莱德塞德开始的，时间也不是在19世纪中叶这么晚。不过，正是在19世纪中叶前后，铁船制造业开始得到了迅速的发展，进入长达30年的全盛时期，直到钢取代了铁以后才急剧衰落。早在1787年，英国中部就开始以铁代替木材来造船。那一年，威尔金森(John Wilkinson，1728—1808)制造的"试验号"(*Trial*)驳船下水，船长为70英尺，船壳用5/16英寸厚的铁板制成，不过在结构上也采用了一些木制构件。据说，在随后的几年里又陆续建成类似的几艘铁船，并往返航行在塞文河和内陆的运河上，但这些都没有确切的记载。然而，在苏格兰可以找到有关铁船的

1　斯蒂芬家族的后代现在仍然控制着这个从事造船业长达两个世纪之久的公司。

先驱"伏尔甘号"(*Vulcan*)驳船的详细记录。它造于拉纳克郡的艾尔德里，准备在福斯河和克莱德运河上运送乘客(图183)，1816年由约翰·罗比森爵士(Sir John Robison)完成设计。顺便提一下，约翰爵士是一位曾在印度工作过的退休官员，他的父亲早年在格拉斯哥大学读书的时候，就与瓦特(James Watt，后来在蒸汽机方面奉献了他的才智)建立了持久的友谊。这艘驳船从1818年开始建造，第二年由克莱德运河公司的木匠威尔逊(Thomas Wilson)在两位铁匠的协助下完成，铁匠主要负责铁板的成型与连接。没有记载表明"伏尔甘号"驳船曾经被用作客船，但有记载显示它在1864年被用作克莱德湾上的运煤驳船。据说，它在被送到拆船厂之前总共航行了50多年。

351

虽然克莱德塞德一直被称为"铁船制造之乡"，但它并不是铁船制造业的发源地。更多的开拓性工作在英格兰完成，第一艘铁制蒸汽轮船也是在那里造了出来。这艘船的材料在斯塔福德郡的霍斯利炼铁厂(Horsley Iron Works)里制备后，运到泰晤士河上进行安装，所以它也是现代预制工艺的先驱。1821年，这艘名叫"艾伦·曼比号"(*Aaron Manby*)的轮船建成，次年横渡英吉利海峡到达勒阿弗尔，这是通往巴黎的必经之路。但在此后的许多年里，人们并没有继续制造铁船。1829年，出生于克莱德塞德的威廉·莱尔德(William Laird)和他的儿子约翰·莱尔德(John Laird，1805—1874)在伯肯黑德开始继续制造铁船，这一家族与伯肯黑德造船业的关系不久以前才停止。正是莱尔德制造的轮船，最先表明了用铁做结构材料的可靠性。1834年制造的"加利·欧文号"(*Garry Owen*)轮船在第一次航行中，就与几艘木船一起在岸边搁浅，有些木船完全毁坏了，余下的也严重损坏，但铁船只有轻微的损坏，证明了铁的优越性。1836年，费尔贝恩(William Fairbairn,1789—1874)开始制造在泰晤士河上航行的铁船，他是那些支持用铁来造船的人中最热衷可能也是最有成效的一个。年

轻时的他在曼彻斯特当过磨粉厂技工，后来给福斯河和莱塞德运河公司担任顾问，在此期间遇到的一些问题激发了他对造船学的兴趣，并使他相信铁是适合造船的。1831 年，他在曼彻斯特制造了一艘小型蒸汽轮船，并用一架四轮马车载着它穿过大街来到运河边下水。此后，为了制造更大的蒸汽轮船，他在泰晤士河建立了米尔沃尔炼铁厂（Millwall Iron Works）。

352

在 1839 年以前，克莱德塞德地区并没有开始持续不断地制造铁船。虽然横渡大西洋的轮船已经在 1838 年证实了蒸汽机的价值，但几年过后才开始把铁广泛用于造船。现在以库纳德航运公司（Cunard Line）而闻名的船队中最早的四艘船，船壳都是用木材制造的，1840 年开始承担横渡大西洋的航运业务。事实上，直到 1852 年时，为这支船队制造的一艘船仍然用的是木材。然而，铁船的蓬勃发展确实是在 19 世纪中叶前后开始的。19 世纪克莱德塞德地区

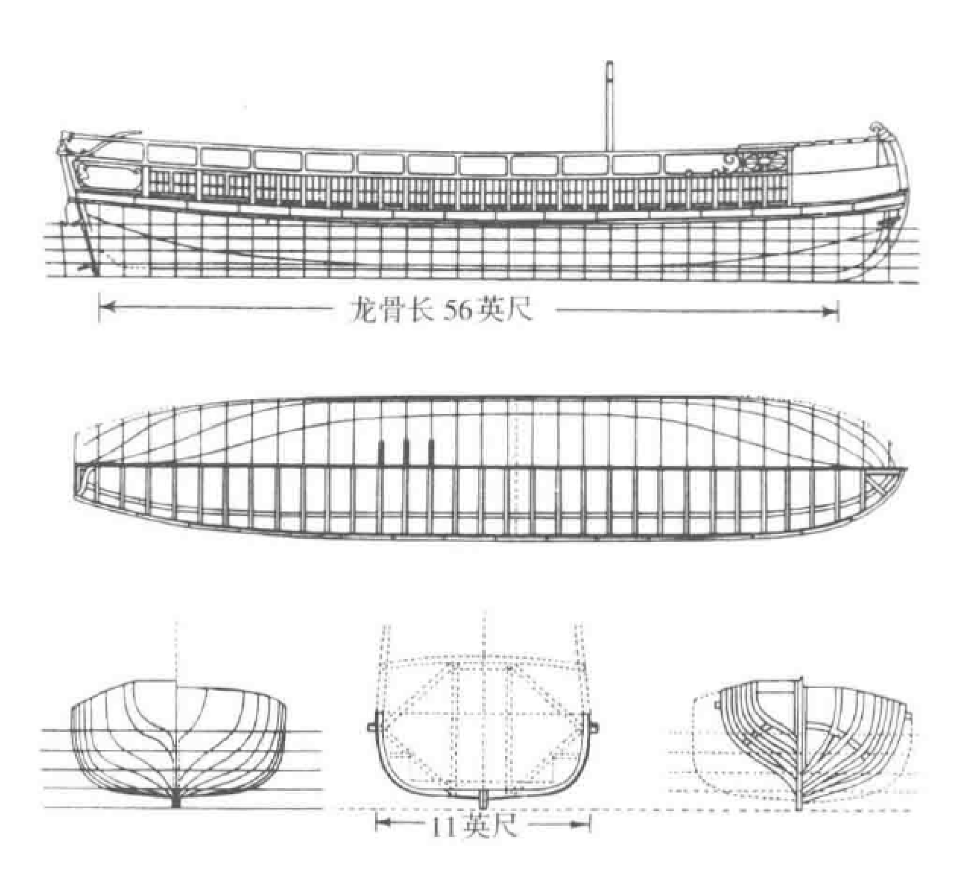


图 183 “伏尔甘号”驳船的结构图。该船根据约翰·罗比森爵士的设计建造于 1819 年。

船产量的统计图表（图 184）就说明了这一点，不过全国的统计资料无法获得。关于这些早期记录的根据存在着某种疑点，图中的数据也没有明确表明他们专注于蒸汽轮船特别是铁制蒸汽轮船的具体程度。但从 1864 年起，图中的数据包括了蒸汽轮船、帆船和少量的木壳船，铁船时代已经来临。图中令人感兴趣的是，即使在 19 世纪 90 年代初，帆船的产量依然很大，蒸汽机在长途货运方面并不占优势。

353

16.2 船的强度

造船产量迅速增长的时期也是造船技术飞速发展的时期。造船技术的基础在一个世纪前就已奠定了，但不是在英国甚至不是在欧洲，而是在赤道附近的安第斯山脉。奠定基础的人是地理学家、数学家布格（Pierre Bouguer，1698—1758），他曾是在秘鲁测量某个纬度的一支探险队的领导者之一。1746 年，布格在巴黎出版了他在探险期间完成的《船舶概论》（*Traité du Navire*），这本书几乎包含了所有造船学的基础知识。他发明了测量面积的梯形法则，并把所得的结果与用牛顿（Isaac Newton）和科茨（Roger Cotes）发明的法则所得到的结果进行了核对。当时，布格并不知道运用牛顿法则的辛普森（Simpson）简化法，因为这一方法发表时他还在安第斯山脉。他以简单的梯形法则为基础，概述了大部分流体静力学的计算方法，现在已经成为船舶设计师的常用计算手段。

更为重要的是，布格概述了关于船舶强度分析的基本原理。他指出，相对于船体的中部，船的两端会有向下垂的倾向，木船出现这种“拱曲”或“舯拱”，是由于船体中心前后两部分的重力和浮力的分布不同而引起的。图 185a 说明了这种情况。大小相等、方向相反的重力和浮力构成了作用在船体结构上的力偶，这一力偶必然要受到一个作用于船体结构内部的力所产生的力偶的抵抗。

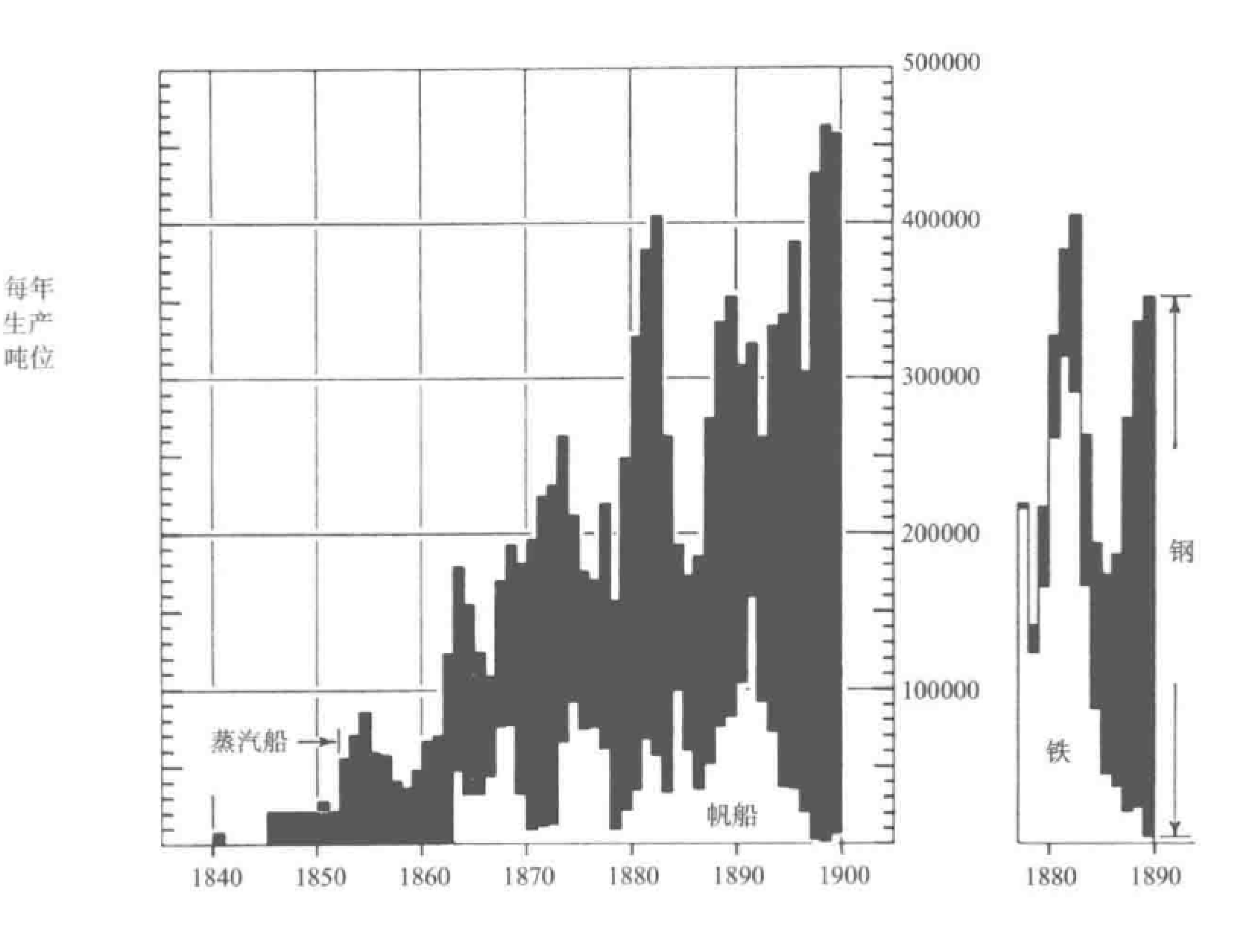


图 184　19 世纪克莱德塞德地区的船产量。右图给出了铁船和钢船的吨位数。

为了从船的内部提高船的强度，布格提出的方法是沿着船的中线平面，安装一根有着由熟铁制作的拉力件和由木头制作的压力件的桁架梁。

布格只是给出了关于重力分布的一个粗略估算，杨（Thomas Young，1773—1829）则在 1811 年给出了一种较为准确的类似于现在所采用的估算。杨是一位医生、生理学家、物理学家、语言学家和埃及学家，也是一位为伦敦社会增添了光彩的人物。但是，无论是布格还是杨，都没有考虑到当船穿过波浪时出现的沿着航道的浮力分布变化。1860 年，费尔贝恩指出应当考虑这种变化：

当考虑一条船的时候……我们可以把它近似地看作一根简单的梁。实际上，船总是处于以下的某种情况：要么船的两端被两个波峰所托

354

起，要么是被另一个波峰从船的中部托起，船头和船尾则部分地悬空。在这些情况下，船体沿整个舱面交替地承受压缩应变和拉伸应变，船体也沿整条龙骨相应地经受同样的拉伸应变和压缩应变，这些应变会随着船是两端被波峰托起还是中央被波峰托起而发生反转。事实上，每一艘船体较长的船都会受到这种交替变化的应变，在海里尤其是这样，因为海浪的两个波峰之间的距离不会超过船的长度。

此后不久，兰金（W. J. M. Rankine，1820—1872）发表了作出同样分析的示意图，并发展了这种分析方法。图 185b 显示出一艘平衡于波峰上的船，船的长度等于波浪的波长。与图 185a 所表示的船在静水中的情况相比较，如阴影线所示，一部分浮力从船体两端移向了中部。这样，重力和浮力作用线之间的距离拉开，从而使产生舯拱的弯曲力矩增大。图 185c 表示的是船平衡在两个波谷之间的情况。这时，大部分浮力从船体中部移向了两端，从而使浮力的作用线移到重力作用线的另一侧。这样，外部力偶的方向便反了过来。此时，相对于船的两端来说，船的中部呈下垂趋势，这种状况被称作“舯垂”。

355

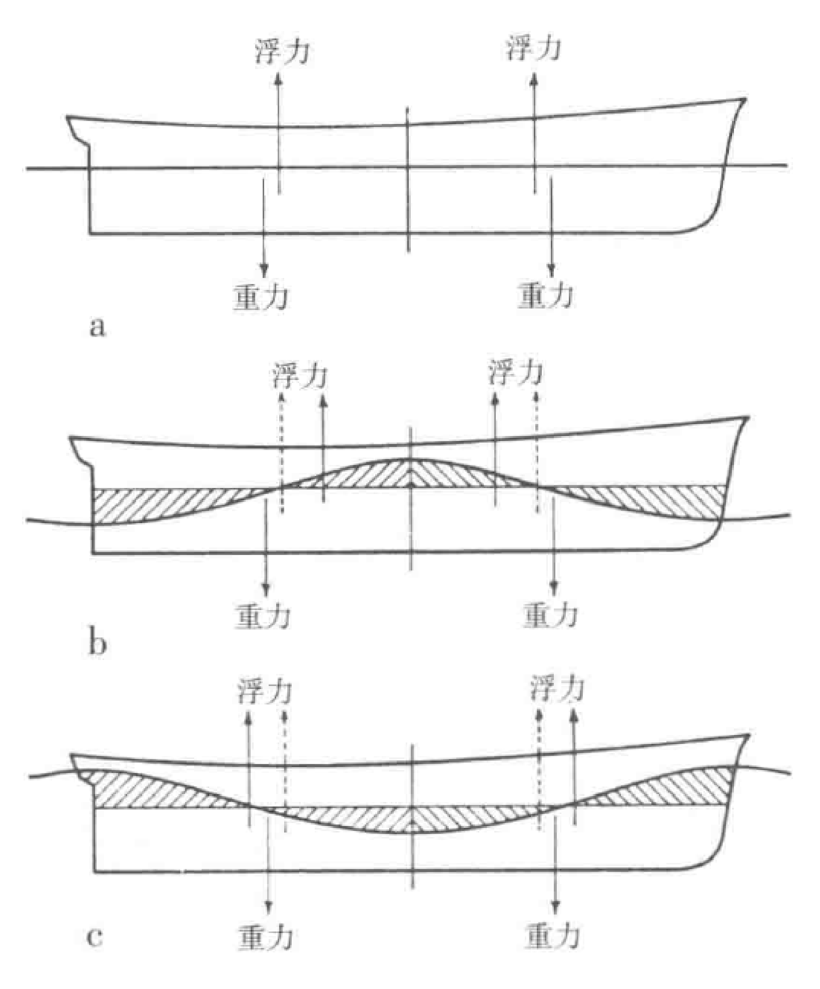


图 185　船体上的受力图。

兰金把整个外部力偶（或叫弯曲力矩）分为两部分，一部分叫静水力矩，是一种几乎不变的舯拱力矩；另一部分叫波浪力矩，是由浮力的转移产生的。对位于波峰上的船来说，浮力的转移会导致原来力矩（即静水力矩）的增大。对横跨在波谷上的船来说，浮力的转移会导致原来力矩的减小，有时还会改变原来力矩的方向。

16.3 铁船的结构

从大体轮廓上看，早期的铁船与木船的结构配置没有什么差异。两者都有沿着中心线从龙骨上分出来的横向构件——肋骨，都有一个覆盖横向构件并具有水密性的蒙皮或外壳。但是，木船的结构存在着一种根本性的缺陷，不能做到端对端连接。它的外壳由相对较短的窄木板或称列板构成，而且为了保持船体的连续性，不得不把相邻列板的端头尽量错开。结果，这种结构不能承受费尔贝恩提到的那种"拉伸应变"[1]。鉴于这种情况，木船的长度被要求不得超过 300 英尺。一旦长度超过这一极限，由重力和浮力的不同分布所引起的变形就会过大，船壳就难以保证不漏水。在采用了铁以后，铁板的端部便可以用铆钉来连接，这为克服木船船壳的上述缺陷提供了一种可能。但是，这种可能性并没有马上得到充分的开发，在考察"伏尔甘号"驳船（图 183）的设计时就可以看到这一点。

"伏尔甘号"的龙骨由两条从船头到船尾的 3/4 英寸厚、12 英寸高的铁板构成。沿着龙骨，每隔 24 英寸安装一根肋骨，弯曲着延伸到舷缘，肋骨是用铁板条在一种特制的砧座上敲成 L 形而制成的。这种角铁的折边在绝大多数上宽约 3 英寸，但在横跨驳船底部的部分，垂直折边的高度逐渐增大到 5 英寸左右，并在达到 5 英寸的地方与龙骨相铆接，水平折边则弯成直角以提供固定用的部位。龙骨两边的两根肋骨，通过双倍厚度的龙骨互相铆接在一起（图 186a）。蒙皮或船

356

1　木制龙骨尽管厚实，但也是用相对较短的小段嵌接而成的，因此缺乏刚性。

壳通常厚达 1/4 英寸，但在船头的厚度增加到 3/8 英寸。船壳由一系列板格排成，每一个板格跨在两根相邻肋骨之间，从龙骨延伸到舷缘。相邻两块铁板的边缘沿着一根肋骨的中心线延伸，两排铆钉通过肋骨把两块铁板边对边地拼接起来（图 186b）。由于不可能一块铁板放一个板格，必须在大约一半宽度的地方设置接头。沿纵向的两条相邻的板边被一块大约 3—4 英寸宽的板条所覆盖，从一根肋骨到另一根肋

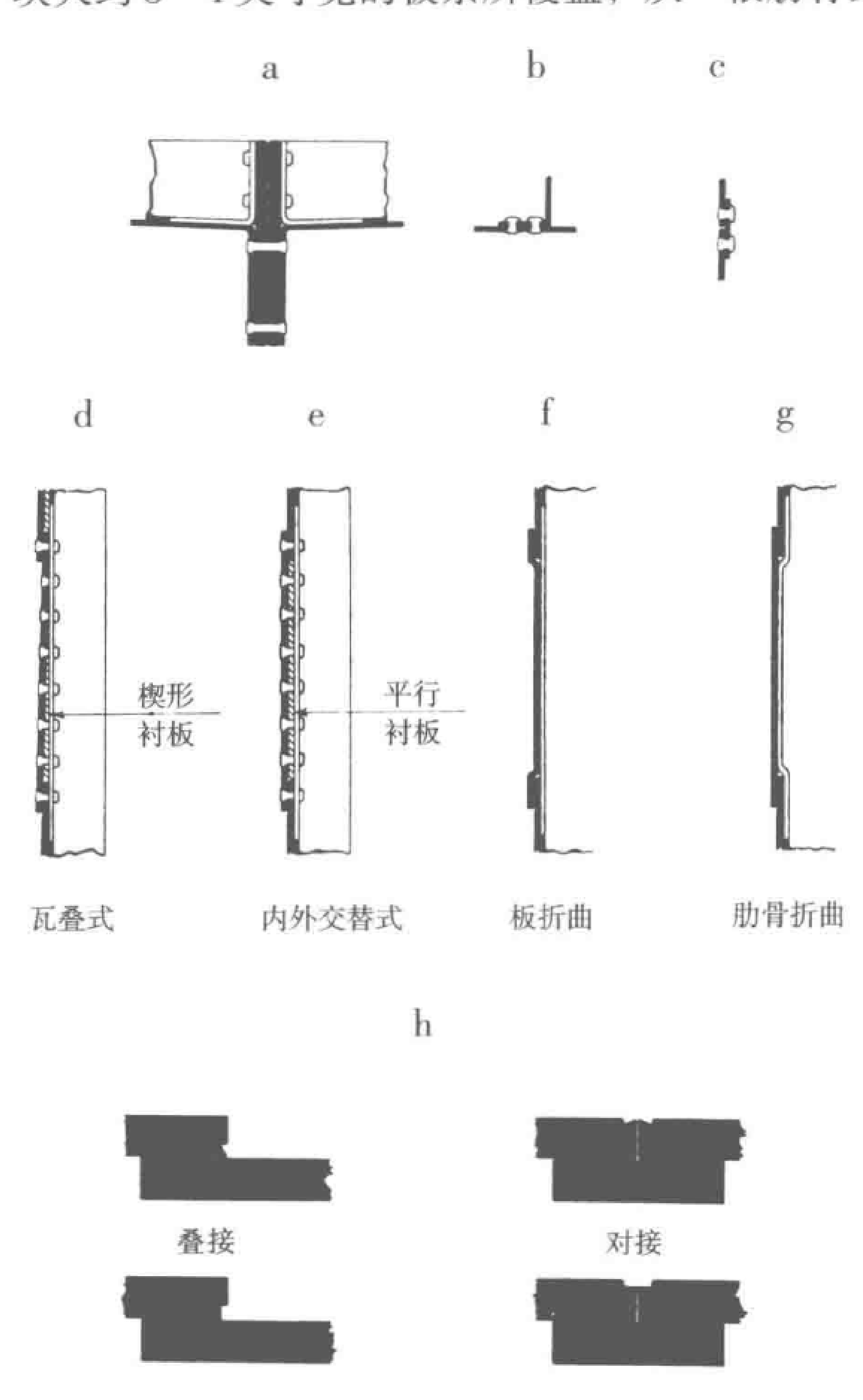


图 186　船壳板的拼接图。

骨地延伸（图 186c）。

“伏尔甘号”结构设计亦有缺陷。每根肋骨上都有一条从一边舷缘到另一边舷缘围绕着船体的接缝，这种靠肋骨的折边来铆接的接头，强度远远不如不钻孔的铁板包覆。这种缺陷对于运河驳船来说并不很重要，但在板格上覆铁板的方法不适合于海船。于是，安装铁船船壳时也像拼铺木船船壳那样采用纵向列板，就成了一种普遍的做法。当然也有一个主要差别，那就是铁船上采用了木船上不能用的端对端连接方法：相接列板的端部是用铆钉结合在一起的，人们将船壳列板的边缘叠接起来（图 186d），这是小木船经常采用而大木船偶尔采用的方法。在小木船上，板条的边缘是“咬”在一起的，因此这种船板结合方式被称为“咬接”或“瓦叠”。虽然现在找不到有关这种瓦叠式船壳起源的记录，但它的使用很可能已经持续了 20 年左右，也就是说一直沿用到 19 世纪中期。

357

然而，瓦叠式船壳板具有一个严重的缺陷。每块铁板与横过该铁板的肋骨之间有一个三角形间隙，在把外层板和肋骨铆接起来之前必须先填满这个间隙，因为只有在需要铆接的两部分之间不会“弹跳”的情况下才能很好地进行铆接。有时会在铆钉周围的空隙中填上一些并不适配的垫圈，更为常用的方法则是垫上一块楔形“衬板”[1]。制作这种衬板比较难，并且通常都做得不是很好。大概是拉塞尔（John Scott Russell，1808—1882，我们将在边码 361 处再次提及）提出了一种简单的改进方法，把列板内外交替排列（图 186e），在肋骨与外船板之间的空隙中垫上一块与内船板等厚的简单平行衬板。这种方法的进一步的优点是可以先装上内板条，然后再根据船形制作出各种外船板的型板或模型，从而提高铆钉孔匹配的精确度。

到 19 世纪末期，这种平行的衬板也被淘汰了，取而代之的方法

1　垫在肋骨与外列板之间的一种窄板条。

有两种，其中一种方法如图186f所示，将外板的边缘“折曲”，以让船壳板平躺在肋骨上。另一种更为普遍采用的方法如图186g所示，把肋骨向外“折曲”，形成接受外部船板的座。这种“内”“外”列板式的船壳板安装方法，几乎普遍应用于整个铆接造船的时代。后面（边码369）我们还将提到，人们偶尔也会回过头来采用瓦叠式安装船壳板的老办法。

358

板与板之间只用铆钉连接并不能确保船壳不漏水，必须用填充物填塞接缝和端接缝[1]。这需要在靠近铁板边缘的地方切割出一条与相邻铁板平行的V型槽（图186h），然后用同样的工具及不同的执握方法把这样形成的脊敲压下去即可。对于对接缝来说，相邻板的金属就会被锤到一起，底部形成一个浅的矩形槽。对于叠接缝来说，一块板的金属被结实地锤到另一块板的金属表面，也形成一个浅槽。“伏尔甘号”是否采用了这种方法，我们不得而知。不过，这种方法很可能是由木船制造者雇来的负责造船材料成型和制备的锅炉制造工，它一直被沿用下来，没有发生多大的变化。上面提及的这些工艺的分工也被保留了下来，造船厂里近些年还常常把铁工划归为锅炉制造工。

1784年就开始有了铁的轧制工艺，但很长时间以后才有现存轧制铁板的供应。因此，“伏尔甘号”的铁板很可能是用轮锤锻造出来的。但是，制造铁船需要的不仅是平铁板（无论这些铁板是由轮锤锻造出来的还是以后轧制而成的），铁制肋骨（其功能与木船的肋骨相当）同样也是必需的。横向布置的薄铁肋骨可以提供与矩形截面的木制肋骨相当的强度，但是这样的肋骨不能固定到铁制的船壳上。因此，需要加设一种纵向布置的构件，从而产生了对于“伏尔甘号”船使用的那种角铁的需求。虽然我们不知道用轧制方法生产的第一批角铁出现在什么时候，但到19世纪中叶，铁工厂已经能够提供不同尺寸、不同比例和不同截面形状的各种角铁了。

1　接缝是指沿船身纵向的接缝，端接缝是指横向的接缝。

图 187 显示出船用肋骨安装方法的各个发展阶段。图 187a 是适用于小船的简单的角铁。为了提供大船所需的更高强度，要在肋骨角铁上安装一根倒置的肋骨角铁，如图 187b 所示。这种结构的优点是可以只将倒置的角铁装设在需要加固的那一段区域内。图 187c 所示的 Z 形角铁，实际上是一种把肋骨和倒置角铁轧制成整体的构件，英国海军部大量采用了具有这种截面的构件，商船制造者却不喜欢，我们将在后面（边码 368）提及原因。图 187d 所示的槽形角铁是一种具有向内折弯的凸缘的 Z 形角铁，图 187e 所示的球缘角铁则是一种具有经压缩并被弄圆了的内折边的槽形角铁。多年来，球缘角铁一直是造船业中使用最广泛的构件，尽管在相同重量的情况下，它的抵抗弯矩的能力比不上槽形角铁。通常，选择球缘角铁的原因是它更便于有效地涂刷防锈漆，毕竟油漆工的刷子恐怕根本不可能有效地伸到槽形角铁的内侧折边处。采用像槽形角铁或球缘角铁这样的轧制构件而不采用装配起来的肋骨和倒置角铁，代价是要承担一些额外的重量，因为在最大负荷区具有足够强度的截面在较小负荷区就会超过必要的强度，轧制构件的强度不像装配的肋骨和倒置角铁那样可以改变。但是，人们已经懂得，减少需要加工和安装的构件的数目可以有效地降低制造成本，这种思路在当时占有支配地位。

359

在木船上是不可能在龙骨和舷缘之间安装整根肋骨的，因为无法

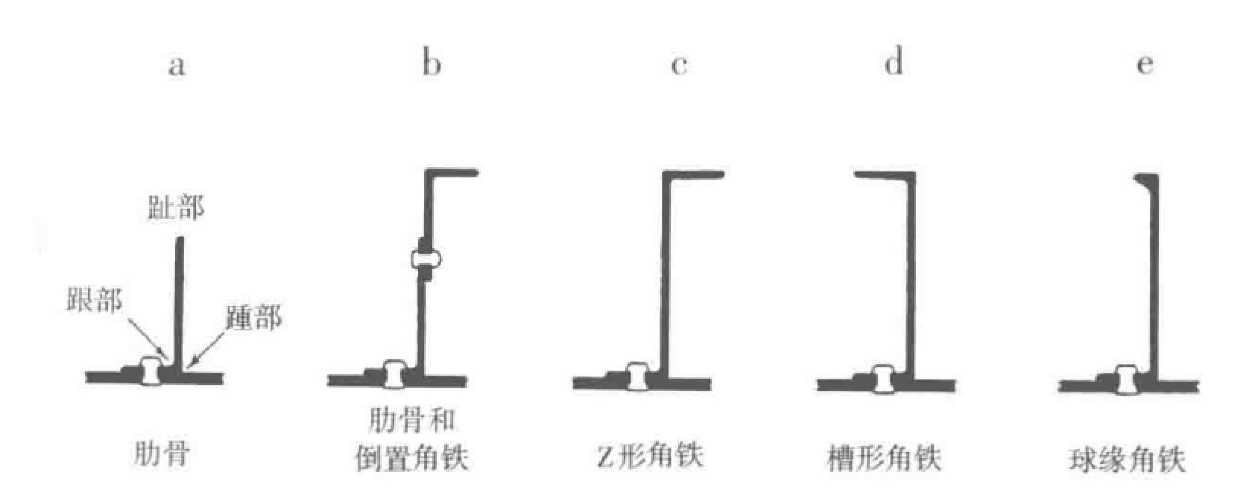


图 187　肋骨的种类。

得到大体上形状理想、长度符合要求的木料。因此，一根肋骨要由几块首尾相接的木料拼接而成，并且沿着肋骨还要配上一些类似拼接的木料，一列木料的公共端位于另一列木料的两个公共端中间。这种结构方式沿用到早期的铁船上。在1865年出版的一本书中，拉塞尔对此作了描述和评论：

……回顾一下早期造船工的做法确实是很有趣的……他们把一些短角铁小心地放在一起，并把它们的端部整齐地嵌接起来，通过他们的装配，一条单根的肋骨就形成了。所有的肋骨都是由小角铁组成的。幸好这种制作方法终于不再被采用了，因为他们发现，用一根或最多两根角铁轧制成肋骨更为容易和便宜，并且强度也更大，他们很快也发现了怎样用适当尺寸的角铁来弯曲或焊接成长度一致的完整肋骨。但是，在隔了很长时间以后，他们才接受了这种简单的好方法。即使在今天，人们还在用原始的方法把一块角铁补缀到另一块角铁的背面，以做出像测力计刻度表的一种拙劣模仿物那样的东西，这种东西曾被用在木船上，从龙骨延伸到船缘。

360

最初制作角铁肋骨时，由于轧铁厂不能提供适当长度的角铁，铁船制造工人不得不把较短的角铁焊接起来，或者用另一根较短的角铁跨接在两根角铁端头的背面铆接牢固。然而，这种局面很快就有了改观，人们可以用轧铁厂提供的长度适于做肋骨的角铁无须拼接地从龙骨延伸到舷缘了。

拉塞尔的评论只是他力主彻底改变当时工艺方法的序曲。在我们所引用的一段话中（边码354），费尔贝恩论述了船体结构中交替变化的“拉伸和压缩应变”的产生原理。费尔贝恩在1865年出版的书中的一段话，指出了最适于经受住这种应变的材料分布：

材料……应尽可能集中在船中央的顶部和底部，船体两侧的材料只要能牢固地连接顶部和底部就行了。

拉塞尔进一步展开了这一论述，围绕是否需要安装肋骨提出了新的看法：

可以说，铁船的肋骨在造完船以后的用处只是变成了结构部件，在船的制造过程中倒是有用处的。在造船过程中，肋骨是一种很方便的支架。在互相连成一体以前，构成船壳的铁板就是靠肋骨来支承的。在此之后，肋骨就不再具有这样的作用，只是变成了一种临时的脚手架。等到造船完成，肋骨在结构方面的作用只是使整个结构具有一定的刚性，以抵抗可能引起结构变形的外力。但就这一目的来说，肋骨的抵抗力是很弱的，而且还浪费了材料。我们将会看到，采用其他的方法可以更为有效地抵抗局部外力，以保持船形所需的刚性和强度。

图 188 显示了由拉塞尔提出的造船方法。他有时采用这种方法，但不总是如此。每一块船壳板的列板上都设有一根由一块铁板和两根角铁组成的从船头到船尾的 Z 形防挠材，在甲板下也设有两根类似的防挠材，以及仅由角铁构成的其他一些防挠材。船形是靠一系列横向的隔壁或称舱壁来保持的，图中显示出其中的一块。此外，在一些完整的舱壁之间还安装了一系列腹板或称半舱壁，图中也显示出其中的一块。然而，这种结构系统没有被广泛采用，我们可以在拉塞尔前面的那段话里找到解释。由于横向的肋骨在准备铆接船壳板的过程中能起支承船壳板的作用，这种便于制造的优点使得人们更乐于采用横向肋骨。

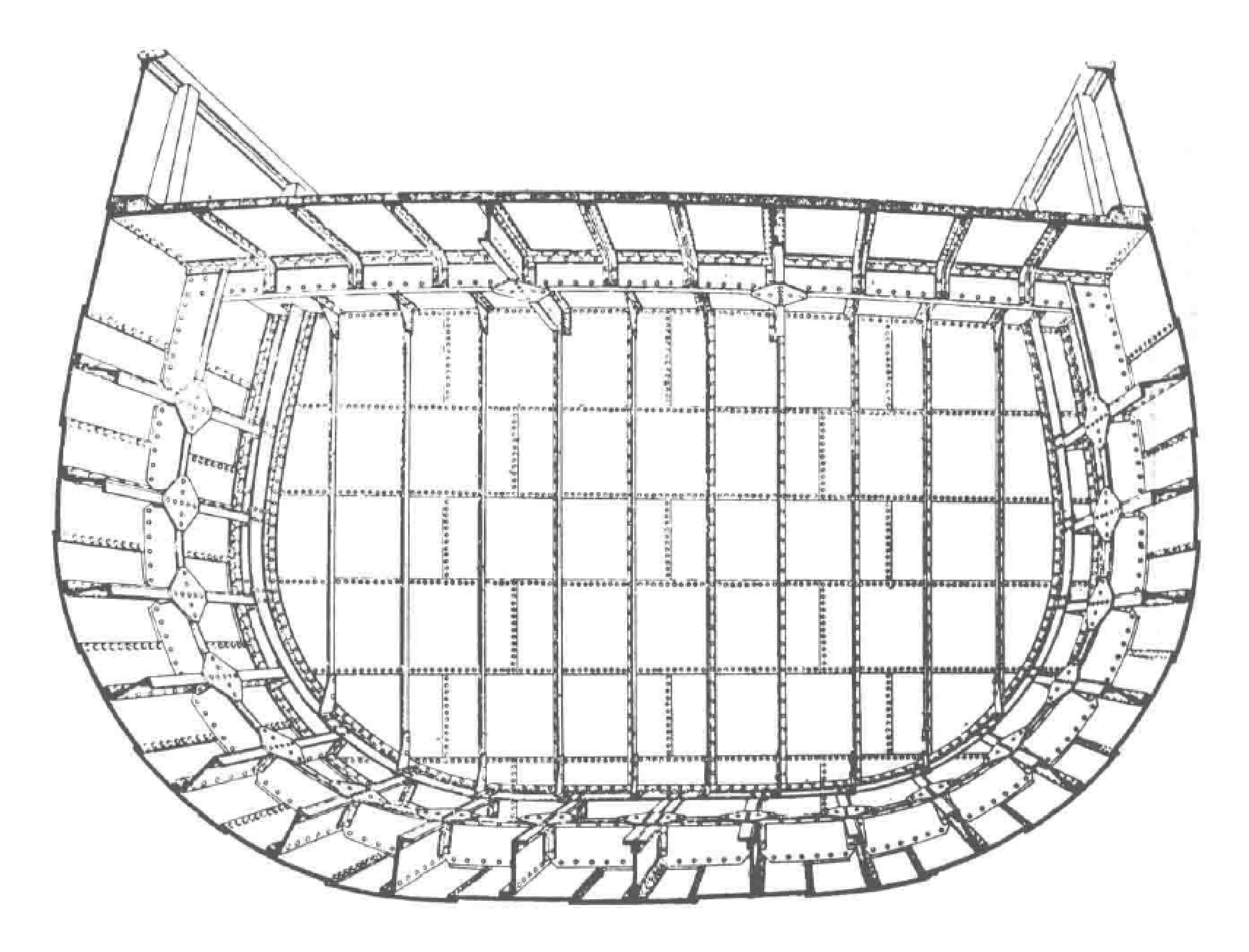


图 188 拉塞尔的纵向防挠材结构，用于“安妮特号”（*Annette*）。

16.4 “大铁船”

铁船的早期制造也经历过一段思想极其活跃但结果不太令人满意的时期，这就是“大东方号”（*Great Eastern*）——“大铁船”的时期。与这种思想的出现和实施有关的两位最著名的人物是布律内尔（Isambard Kingdom Brunel，1806—1859）和拉塞尔，前者是法国革命时期一位流亡贵族的儿子[1]，后者是格拉斯哥郊区一位牧师的儿子，两人都多才多艺。布律内尔在与父亲一起工作期间，受过成为一名土木工程师所必需的训练，27 岁时被任命为建造布里斯托尔－伦敦铁路的工程师，这条铁路不久就被命名为大西部铁路 。拉塞尔本来会成为牧师，但他的才能更适于搞机械工程，他经常在大学假

1　布律内尔的父亲马克·伊桑巴德·布律内尔爵士（Sir Marc Isambard Brunel，1769—1849）也是一位著名工程师，他凿通了第一条泰晤士河隧道。

期里到机械车间工作。后来，他没有在爱丁堡当教授，而是在格里诺克的一家造船厂当了经理，成功制造了一辆蒸汽客车，往返于格里诺克和佩斯利之间。1844年，他移居伦敦，1850年时接管了费尔贝恩在米尔沃尔开办的企业。据说，布律内尔步入造船业是从1835年的一次大西部铁路公司董事会开始的。在那次会议上，当一名与会者谈到计划要建造的铁路长度惊人时，布律内尔反驳道："为什么不把它建造得更长一点，再加上一艘往返于布里斯托尔和纽约的蒸汽船，并把它命名为'大西方号'（*Great Western*）呢？"在那个技术冒险的年代里，玩笑话被当真了，这艘蒸汽船就在布律内尔的指挥下制造出来。

1838年，"大西方号"成为横渡大西洋的第一艘蒸汽船，开辟了使用蒸汽船的大西洋定期航线，此船的船壳是木制的，并且使用了明轮发动机，实现了设计时提出的目标。这艘船取得了极大的成功，船主很快就决定制造第二艘船。布律内尔建议新船应采用铁制船壳，并在建造船壳的过程中，大胆决断，即抛弃明轮，采用螺旋桨。1843年，这艘"大不列颠号"（*Great Britain*）投入了使用，第二年在爱尔兰海岸的一个滩头上搁浅，并在那里挨过了整个冬天。就像约10年前的"加利·欧文号"一样，铁制船壳在特殊情况下所显示出来的优良性能，让人们对这种新材料产生了信任感。"大不列颠号"作为蒸汽船航行了30多年，改造成帆船后又航行了一些时间。

可能是由于在澳大利亚邮政公司（Australian Mail Company）当过一段时期的工程师，这家公司又与拉塞尔建造的两艘船有关，布律内尔的头脑里出现了制造一艘能够装载足量燃料进行长途航行的大型轮船的想法。肯定是在1851年和1852年，他周密思考了相关的问题。1852年，他认定这样的船应该采用"蜂窝状底"，主肋骨应该是纵向排列而不是横向排列。同年，他与拉塞尔及东部蒸汽航运公司（Eastern Steam Navigation Company）的董事们讨论了这一项目。这艘

363

大船最初的设计要求是能够航行到加尔各答，后来的规划被扩大为建造一艘巨轮，装载的燃料可供它做往返澳大利亚的环球航行，经好望角到澳大利亚，再经合恩角返回。1853年初，布律内尔记下了如下注释："此船全部用铁制造，双层底，两侧从船底直到吃水线装有类似于不列颠隧道［由斯蒂芬森（Robert Stephenson）建造的横跨梅奈海峡的大桥，见边码503—507，图版28］所采用的纵向肋骨。"

1853年12月，在考虑了各种设计方案之后——其中包括一种船长为730英尺的设计方案，一份关于制造一艘新船的合同签订了。合同要求这艘船长达680英尺、宽达83英尺、高达58英尺，装有一台驱动螺旋桨用的4000马力发动机和一台驱动明轮用的2600马力发动机；鉴于必需的功率不可能仅靠螺旋桨推进器来得到，船上还设有六根桅杆，用于张挂一个足够大的帆，以便利用从好望角到合恩角之间很长一段航程中的盛行风。拉塞尔接受委托制造船壳和明轮发动机，伯明翰的詹姆斯·瓦特公司（James Watt & Company）承担驱动螺旋桨发动机的制造。

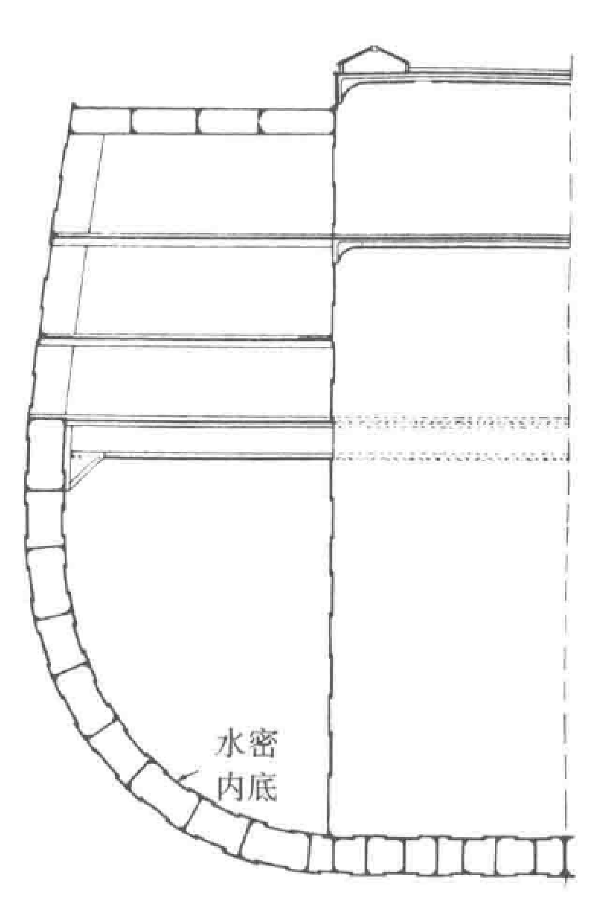


图189 "大东方号"的结构截面图。

布律内尔的第一艘船的垂线间长为212英尺、宽为35英尺4英寸，吃水深度为16英尺8英寸时的排水量达2300吨。他的第一艘铁船的全长为322英尺、宽为51英尺，吃水深度为16英尺时的排水量接近3000吨。他的"大东方号"大铁船在空船漂浮状态

下，吃水 15 英尺 6 英寸时的排水量为 1.18 万吨，加载到 30 英尺吃水深度时的排水量约为 2.74 万吨。

图版 24 再现了“大东方号”的立视图和第五层甲板的平面图，图 189 则给出了一个能显示船体结构特征的截面。船上有 5 个锅炉房，每个锅炉房内装有两台锅炉，设计思想是 4 台锅炉用于驱动明轮发动机，6 台用于驱动螺旋桨发动机，不过，船上还设有一根沿着一条通道纵向延伸的公共蒸汽管道，以便根据需要把蒸汽分配给两台发动机。在与锅炉并列处和锅炉上方，设有一些横贯船身的燃料舱，用来装载 1.2 万吨煤，估计是往返澳大利亚的环球航行所必需的。显然，船的下部区域几乎被发动机、锅炉和燃料占满了。在船的上部区域，设有供 4000 名旅客使用的客舱。

前面我们介绍了布律内尔关于“大东方号”总体结构特征的抉择和他的注释，拉塞尔则进一步从细节上完善了这些指导原则。图 189 再现的截面表明这艘大船具有双层底和部分双层侧面，沿上层甲板的船壳也是双层的。由于在机械舱和煤舱的长度范围内设置了两个纵向的舱壁，船体的结构类似于由发动机和锅炉下面的双层底连在一起的两条“不列颠地铁隧道”。两层船壳之间设有一些纵向的骨架，由靠角铁与船壳相结合的铁板构成，在船壳上一般是一块列板隔一块列板地固定。 364

在他的书中，拉塞尔阐明了他在具体设计中所遵从的一般原则：

就一般的用途而言，我建议在设计船舶时应当尽量减少所用铁板的种类和形状……如果坚持按这个原则设计，统一的制品将是最便宜的和最好的。“大东方号”的内层和外层船壳都是用一种厚达 3/4 英寸的铁板制作的，内部构件都是用一种厚达 1/2 英寸的铁板制作的，铆钉的规格只有一种（7/8 英寸），间距是一样的（3 英寸），角铁的规格也只有一种（4 英寸 ×4 英寸 ×5/8 英寸）。有些不得已的例外……也是偶然的，并且也不是结构设计的一部分……

当然，我们不知道拉塞尔究竟从费尔贝恩的经验和研究中得到了多大启发。1850年，费尔贝恩在一篇文章中[1]提供了一些对于制造铁船至关重要的知识指出用单排铆钉来连接两块铁板的端部是不够的，至少要有两排铆钉。在"大东方号"上，端接缝都采用了两排铆钉，所有的边连接还是采用了单排铆钉。顺便说一下，虽然现在的造船技师已经充分认识到使用过多种类轧制成型材料的缺点，但是拉塞尔所追求的标准化程度已不再是必需的了。

"大东方号"在1854年初开始制造，1857年末做好了下水的准备。这项工作至此已经取得了惊人的成就，人们用了大约300万颗铆钉，把大约3万块小铁板拼合成了一个重达6250吨左右的铁船壳，除了与尾框架相连接的几块特别大的铁板以外，其余的铁板都不超过10英尺长、33英寸宽。根据记载，这艘船在1889年被拆解时，船壳仍然保持完好。

这个大胆的构思在下水时暴露出了第一个主要缺点。根据拉塞尔的建议，由于受水面宽度限制，船是侧对着泰晤士河建造的。在第一次下水试验失败后，布律内尔想出了一个把船转移到水里去的新办法。这项工作历时数月，并且花费了约12万英镑。1858年初，船浮在了水面上。1859年末，全部安装工作完毕。下水的昂贵费用导致资金出现严重短缺，因此未能像开始设想的那样精工细作。

365

1859年末，"大东方号"做了一次前往霍利黑德的沿海航行。与此同时，人们对它的性能也产生了一些担忧。这艘船在港口经过一个冬天的维修和改进后，1860年驶向纽约，人们的担忧也很快得到了证实。拉塞尔在他的书中写道：

1 'An Experimental Inquiry into the Strength of Wrought-Iron Plates and their Riveted Joints as applied to Ship building and Vessels exposed to severe strains.' *Phil Trans.*, 140, XXXV, 677–725, 1850.

如果此船交予训练有素的船主和管理人员，那么是不难按设计要求以很少的燃料消耗保持每小时 14 海里航速的，而且它已经做到了这一点，虽然消耗了多得多的燃料。但是，如果把这项需要精巧技术的工作委托给一般人，而不是用长期的丰富经验和杰出能力证明自己能胜任这项工作的船主和管理人员，那将是不安全的。

"大东方号"的管理似乎一直很低效，在这种情况下所做的任何改进都不能根除致命的缺陷。当时对煤耗的估计严重不足，如果按拉塞尔提出的每小时 14 海里的速度航行，这艘船完成环球航行将需要大约 75 天时间。只有不考虑偶然事件所消耗的煤，同时不允许在港口使用煤，并且每天只能耗煤 160 吨，才能保证全部的 1.2 万吨存煤能够使用 75 天。然而，为了达到设计要求的 6600 马力的功率，每天的耗煤量将不少于 280 吨左右。一些公布的数字表明，耗煤率的确在每天 250—300 吨的范围内。一个对不甚发达的技术的执着信念，最终毁于缺乏成熟经验的引导。

在一次没有列入设计目标的北大西洋之行中，"大东方号"遭到失败。从 1865 年起，它常常被用于敷设海底电缆（边码 226）。1889 年，这艘船被完全拆解。

16.5 铁船制造中的金属加工

在制造木船的过程中，有些材料的成型和修整工作可以在安装完毕之后进行，一些较易弯曲的船壳列板也可以在安装时弯曲到位固定在刚性的骨架上。但是，铁船根本不可能在安装之后再进行这样的整形处理，也不可能在安装时将船壳板弯曲到相对纤细的骨架上。当时已经是爱丁堡大学几何学讲师的拉塞尔发现，结构材料性能的变化，要求充分考虑到船壳的几何形状，以便更精确地确定铁板的形状。人们还看到，在材料变化的同时，技师所使用的机器进入了造船厂。那

366

些被请来对新材料进行加工成形和安装的锅炉工们，很可能把他们用来剪切铁板和打孔的早期机器随身带进了造船厂。1858年出版的一本关于铁船制造的书中，就有这些机器以及剪切角铁、钻孔和加工埋头孔的机器的插图，还给出了一张加热铆钉用的手提式火炉的插图，以及一张把铁板卷成圆筒的机器的插图。人们把制造这种机器的功绩归功于费尔贝恩，但我们不知道他是不是第一个制造这种机器的人。早期的船用锅炉并不需要铁板卷筒，因为这些锅炉往往是矩形的。这本书中还有一张蒸汽铆接机的插图，这台机器具有一个用来把铆钉尖头对着一块“垫木”挤压到位的塞柱。有记载表明，在修建从伦敦到霍利黑德的铁路跨越康韦河和梅奈海峡的两座管状桥时，费尔贝恩使用了蒸汽铆接方法。至于用来刨平铁板边缘的机器，则是在1874年引入的。

早期的机器靠与高架轴相连的皮带驱动，由蒸汽发动机组提供动力。当然，某些情况下也采用蒸汽机单机驱动方式。1879年，用液压驱动的机器问世。伴随这一发展，出现了更大功率的机器，以及折边、榫接和大人孔冲剪设备等辅助机械。在出现人孔冲剪机以前，加工人孔必须先用铆钉孔冲孔机冲出人孔的轮廓，再凿平粗糙的凸出部分。

有一项弯曲肋骨重要的加工工艺，与这些机器的发展没有什么关系。我们没有见到关于“伏尔甘号”的肋骨被弯成要求形状的方法的记载，也不知道现在常用的加工工艺是什么时候出现的，尽管在关于铁船制造的早期著作中已经有所描述。这种工艺方法中，第一步是在船厂的“型线放样间”（第Ⅲ卷，边码490）的地板上用粉笔画出船壳整体形状的轮廓。放样间是一个巨大的棚房，轮廓图是根据设计室提供的资料画出来的，宽度和高度都是全尺寸（对于大船，长度可以缩短）。每一根肋骨的外形根据这张轮廓图来确定，并被表示在“型线刻画板”（scrieve-board）上。型线刻画板是用一些平板夹在一起而构

成的组合件，上面的肋骨外形是用刻槽的工具刻出来的，因为使用型线刻画板的工人要在上面走动，仅用粉笔或颜料画出的线条会很快被擦掉。除了刻在型线刻画板上的肋骨外形是那些“踵部”处(图187a)的肋骨外形。其他信息都用各种造船专用符号标示在型线刻画板上。

肋骨是在由很大的铸铁板铺成的平台上弯曲形成的，铸铁平台位于加热角铁用的炉子前面，旁边放有型线刻画板。铸铁上钻有沿相互垂直的直线排列的孔，孔的直径为1—1.5英寸，相距5—6英寸。在初期，人们做了一种从型线刻画板到肋骨“趾部”(图187a)的样板，并根据这种样板用粉笔在铸铁平台上画出外形。然后，在铸铁平台上靠近粉笔外形轮廓线的孔中插进一些楔子，并在这些楔子上套一些垫片，垫片的尺寸正好使其接触到肋骨的外形轮廓线，采用具有偏心孔的垫片是一种精细的做法，可以有更多的尺寸供选择。比较现代的工艺方法是把一块较轻的“样板铁”(set-iron)弯曲成所要求的外形，放在铸铁平台上，用敲入孔中的“轧关”(dog)固定住。无论采用什么方法制作肋骨的外形，都需要压挤烧红的肋骨，并用杠杆把它弯成所需要的形状。这种加工过程中唯一要用的机器是一台装在平板车上的液压锤，利用铸铁平台上的孔可以把它固定在某一位置，也可以很方便地将它移至需要施压的位置。这是液压动力比较现代的一种应用方式，随着肋骨尺寸的增大而发展起来。当肋骨的尺寸增大到一定程度时，仅用手动杠杆无法弯曲成型。实际上，工人们并不是将肋骨弯曲到所要求的精确形状，因为在冷却过程中，肋骨会出现回弹。能否掌握这种变形误差，反映了“肋骨成型工”的经验和技艺水平。

在图187中，各种类型的肋骨都有互成直角的边或称折边。为了结构上的方便性，要求朝着船的中心线指向船内的直立折边，从上到下都必须处于与船体轴线垂直的平面内，另一条接合折边则必

须与船壳板紧密配合。在船中部的平船舷上，这两个折边互成直角，但在别处，两者夹角必须从上到下逐渐变化，肋骨必须成斜角。为了使铆工便于用铆钉把肋骨铆在船身上，折边之间的角度可以是钝角，但绝不能是锐角，也就是说肋骨可以有“开”的斜角，但绝不能有“闭”的斜角。为了做到这一点，就得让船前部的肋骨的直立折边位于接合折边的前面，让船后部的肋骨的直立折边位于接合折边的后面。1858年出版的一本关于铁船制造的书，给出了这种肋骨的配置示意图。但是，“伏尔甘号”驳船的设计师并没有意识到采用这种方法的可取性。

368

无论是在型线刻画板上还是在型线放样间的地板上，确定任何位置处折边之间的角度——确定斜角的大小——都只是一个简单的几何问题。起初，往往是在弯曲肋骨的过程中将肋骨压成斜角，方法是在直立于铸铁平台的接合折边的上方装一个“叉子”，并用杠杆将折边扳至所要求的角度。斜角机已经出现了许多年，主要由两根伞形轧辊构成，它们相互接触，形成的倾斜面在开始时互成直角，在肋骨的“跟部”(图187a)相遇。然而，下辊面的倾斜度可以连续地减小，从而由倾斜部分把通过这对轧辊的肋骨的一个折边挤压下去，上辊则使另一个折边保持竖直。这种机器被安装在炉口处，当直的肋骨从炉中被拉到弯曲用的铸铁平台上时，就被压出了斜角。

Z形肋骨(图187c)的缺点是不能把它平放在弯曲用的铸铁平台上。因此，在弯曲和压斜过程中，必须把它提升起来放在一些特殊的铁砧上。

另一种几乎与采用机器无关的工艺方法是将构件用铆钉连接。有关铁船制造的早期著作，叙述了一些至今还在采用而且改变甚小的方法。铆钉由带风箱的可移动式火炉加热，再由铆钉加热工把它们传递给(有时是扔给)铆工，用一把钳子准确地抛扔烧红的铆钉需要娴熟的技巧。接着，铆工把铆钉敲入铆孔，再用重锤把它们铆上。

铆钉头通常是“平底锅”形的，就像图187中肋骨内侧所示的那样。如果想让铆钉填满图187中的船壳板上的埋头孔，需要两个铆工交替地锤击铆钉的顶端——从头上凸出的直柄端部。如果铆钉的顶端比埋头孔大，那就需要由一个铆工用切削刀具切除顶端多余的材料，并由另一个铆工敲击。如果铆钉的顶端不够填满埋头孔，需先由两个铆工把铆钉锤进一部分，再由其中一个铆工把住一个铆头模、另一个铆工锤击成型。图187b中连接肋骨和倒置角铁的铆钉就是这种类型的铆钉。1865年出现了一种靠压缩空气来进行操作的铆合锤，锤头由汽缸里的一个活塞驱动。这种机器看来并不成功，因为压缩空气约在半个世纪后才被广泛用于铆接、填隙、切削、钻孔和打眼用的工具。在使用了“风锤”以后，只需一个铆工就可以完成这道工序，因为“风锤”的连续锤击频率相当于两个铆工使用手锤轮流锤击的频率。

根据资料记载，蒸汽铆接机似乎也没有得到广泛的使用。它是固定式的，只能用来连接那些能够送到它面前的部件，但在部件安装之前就能事先进行的铆接量，只占全部铆接量的很少一部分。1871年，液压铆接机开始使用，液压动力则在几年后才被广泛用来驱动造船厂中的机械设备。像蒸汽铆接机一样，液压铆接机也是靠挤压而不是靠锤击来形成铆钉端部的。在液压铆接机的最终发展阶段，接纳铆钉头并形成铆钉端部用的铆头模被设置在装有枢轴的臂的端部，铆头模与枢轴之间的距离为6—8英尺，操作油缸位于枢轴的一侧，远离铆头模。液压机的柱塞的向外运动，使铆头模挤压烧红的铆钉。

第一台液压铆接机被描述为可移动式的，但这种可移动性只是相对的。借助于与总管之间的灵活连接，铆接机可以来回移动，但需用足够的支持力把它吊起来。即使在发展顶峰时期，这种铆接机还是过于笨重，很难在水上舷侧使用。但是为了确保可靠地铆合那

些最笨重的铆钉，在大船上还必须使用这种铆接机。有时为了用它来铆合底部船壳板上的那些铆钉，需要重新采用早期的瓦叠式列板排列方式。当采用内外列板时，只有内列板能用液压的方法铆接，不过对于从中部连续叠接的瓦叠式列板来说，可以用液压铆接机依次铆接每一块列板，列板的宽度取决于铆接机爪的长度。在船台前部的“护舷木”（skids，由一系列角铁搭成的平台）上把小铁板铆到大铁板上去，这是液压铆接机（图 265）最普通的用法。人们发现这种方法是比较经济的，虽然在使用蒸汽铆接机的时候好像没有采用过。

16.6 最后的铁船

图 190 显示出“罗马城号”（*City of Rome*）铁船的结构截面。这艘船造于 1881 年，长为 546 英尺，差不多是最后一艘大铁船。除了甲板层数之多是大船所特有的以外，它的一般结构特征在所有铁船中非常有代表性。“伏尔甘号”铁船的龙骨由两块高为 12 英寸、厚为 3/4 英寸的铁板构成（图 186），“罗马城号”铁船的龙骨则由一块高为 12 英寸、厚为 3.75 英寸的厚铁板构成。它们都用角铁把船壳铁板安置并铆在龙骨上。在“伏尔甘号”铁船上，用平板锤打成的肋骨的高度在跨越船底时增加，在与龙骨连接的地方达到 5 英寸。这样的高度对大船来说远远不够，采用轧制的角铁并不能得到均匀变化的高度，因而只能在一根肋骨和一根倒置肋骨之间加进一块垂直板——底部肋板，得到中心线处所必需的高度，从而形成一个长 Z 字形。“罗马城号”铁船中心线处的底部肋板的高度为 34 英寸，并由此向两边递减，经过弯曲的舭部，高度减小到肋骨的 7 英寸，底部肋板和龙骨之间并不像“伏尔甘号”铁船那样直接连接。此外，底部肋板与肋骨的间距为 28 英寸，为了提高刚度，以一定间隔设置一条高腹板肋板构架，它们横跨船底，并上延到船舷。图 190 的右侧显示了一条高腹板肋板构

370

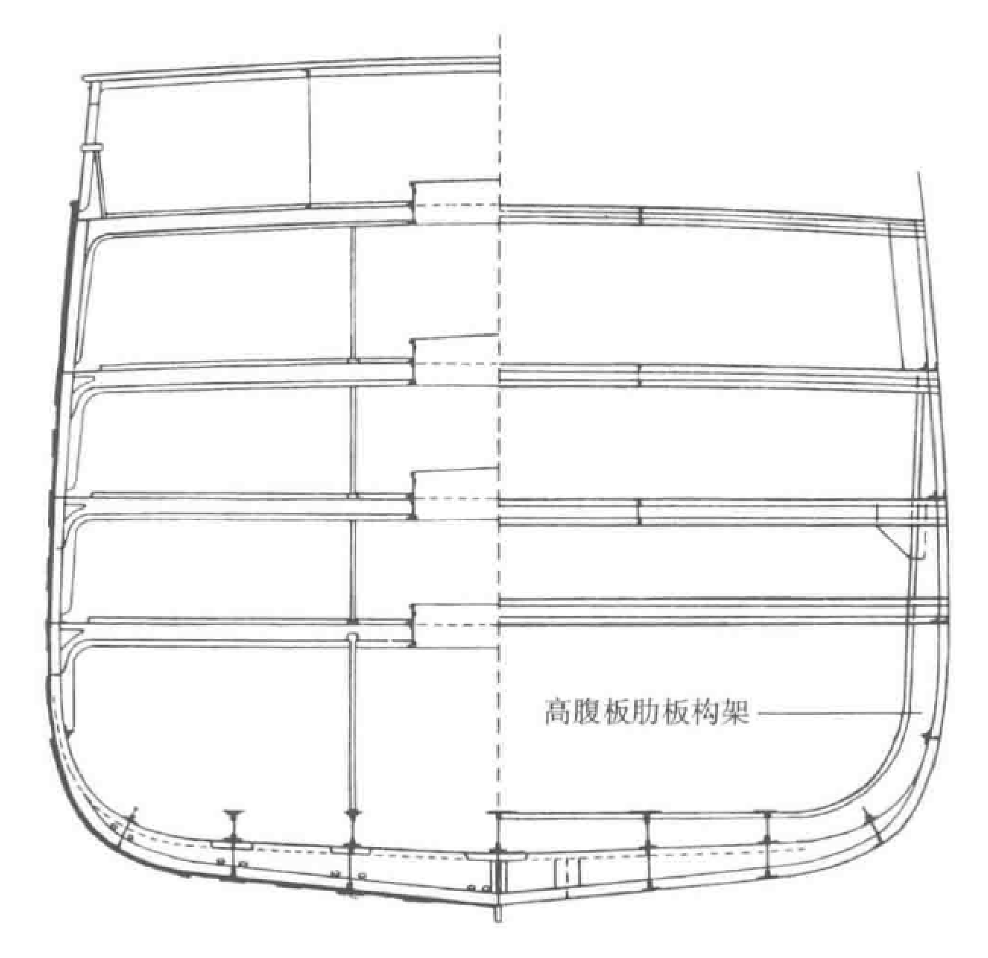


图 190 “罗马城号”铁船的中部结构截面图。

架。这些肋板构架之间的间隔为 8—12 根肋骨，与甲板下的一些高腹横梁相连接。

底部肋板上方安装了由船头到船尾直通的一根中内龙骨和四根旁内龙骨，以进一步加强船底的强度。这些内龙骨由铆在一起的铁板和角铁构成，具有“工”字形截面。每根内龙骨下面的底部肋板之间，安装了一块与该内龙骨相连的铁板。对于中内龙骨来说，铁板靠角铁连接到底部肋板上；对于旁内龙骨来说，铁板则连接到了船壳板上。两边还分别装有两根“纵骨”，较低的那根纵骨由一块铁板和两根角铁构成，沿纵向设置，位于底部肋板的端部附近；较高的那根纵骨由两根角铁构成，沿纵向设置，位于倒置肋骨的内侧。甲板是靠两排沿旁内龙骨纵向排列的从顶到底直立的圆铁柱来支承的，这些圆铁柱很可能间隔地被固定在一些梁上（图 190）。

“罗马城号”铁船的一个不同寻常的特点是，船壳板齐平安装，既不是内外式的，也不是瓦叠式的。接缝一般用装在外部的板条来盖住，不像“伏尔甘号”那样用装在里面的板条来盖住。在船舭部和两块上甲板之间，板条被很宽的铁板取代，这些区域全都具有船壳的两倍板厚度，大部分船壳板的厚度则是3/4英寸。

商用铁船结构上的唯一主要发展，体现在泰恩河和泰晤士河航线的一些运煤船上。为了确保船舶具有适当的吃水深度，向北航行时需要往船上装载一些碎石来压舱，大大增加了购买、装卸和处理的费用。用载水的方法压舱比较便宜，刚开始时是用帆布袋来装水，到达终点时把水全部倒在底舱后，再抽掉。鉴于帆布袋的消耗及其在航行中破裂的可能，人们在1854年建造了一艘配备若干铁制水箱的船，这些水箱被固定在跨越舱底的底部肋板顶上。不久以后，这些分离的水箱被一个作为船体整体结构一部分的大水箱所取代了。图191显示出这种水箱的横截面，它被用发明者的名字命名为麦金太尔（McIntyre）水箱。图中显示了几乎是通用的角铁龙骨，中心线处的两块船壳板的列板铆在上面。图中还显示出通常的底部肋板，372 但是这艘船的肋板止于水箱两侧，并用肘板连接在水箱上，肋板与船壳板成90°。在水箱外侧，沿船侧向上延伸的肋骨和倒置肋骨通过一块大肘板连接在水箱的外侧上。这艘船的中内龙骨与“罗马城号”（图190）的中内龙骨是同一类型的，在中内龙骨的每一边还有三根旁内龙骨，与“罗马城号”的旁内龙骨有些相似，但它们并不与船壳板连接。这些内龙骨构成了水箱顶板的基础。

双层底是军舰结构的一个特点，有时船侧也采用双层船壳，内层船壳的作用是防止一旦外船壳损坏时出现进水的危险。早在几年前，“大西方号”就已经配备了双层底。当时，布律内尔在机械装置的下面设置了高腹纵向大梁，并在大梁上方安装板材来建成双层底船体，这可能是“大东方号”船上所采用的双层船壳板的原型。但直到

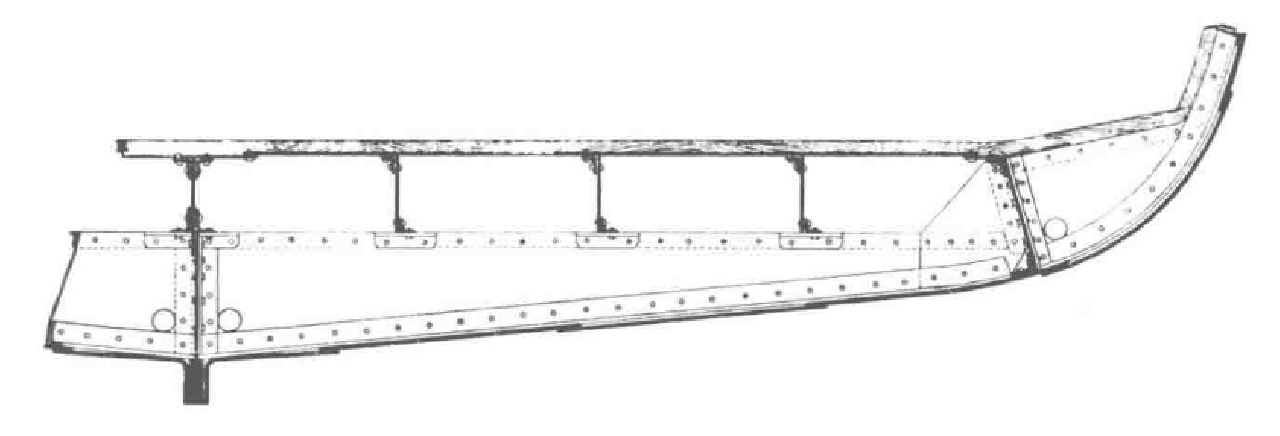


图 191 麦金太尔压舱水箱的横截面。

1880 年前后，人们才认识到对于大船来说，双层底可以用来装水以进行压舱，底部的那层外加的船壳能够确保更大的安全性。如图 190 所示，“罗马城号”(1881 年)没有安装双层底。

16.7 钢船

1860 年，造船学会(Institute of Naval Architects)宣告成立，主要由拉塞尔负责。学会从 1860 年起每年出版一期会刊，它实际上包含了从 1860 年以后关于造船和航海技术进展的全部记录。此外，由于学会关心技术教育，从而对这些技术的发展起到了间接的作用。拉塞尔在 1863 年的学会会议上指出，英国缺乏培养造船技师和工程师的技术教育机构，法国则有这种机构。结果，皇家造船学及轮机工程学校(Royal School of Naval Architecture and Marine Engineering)第二年在南肯辛顿成立，1874 年迁到了格林尼治，成了皇家海军学院(Royal Naval College)的一部分。

造船学会的会刊完整地记录了 19 世纪后半叶船舶建造方面的巨大变化，主要是从铁船变成钢船的过程。1860 年以前，人们就已开始用钢制造船舶。1859 年，一艘即将在黑海投入运营的明轮钢制蒸汽轮船在泰晤士河上诞生。同年，一艘将服役于太平洋蒸汽航运公司(Pacific Steam Navigation Company)的明轮钢制蒸汽轮船也在克

莱德河上被制造出来。此外，在美国南北战争期间，为了突破北方

373 的封锁，人们也制造了几艘钢制蒸汽轮船。在上述事例中，用钢来造船可能是出于减少重量以提高航速的需要，例如船用钢制构件的厚度大约是等效的铁制构件的一半。1864 年，查塔姆造船厂已经对钢进行了试验。但是，人们一直持怀疑的态度。如果将早期生产的钢加热过度而且冷却过慢的话，钢就会变得软而弱，冷却过快又会变得硬而脆。当时，还没有找到能够改变钢的某些人不希望有的特性的退火工艺。1875 年，在呈送给造船学会的一份报告中，海军部的造船总工程师巴纳比（Nathaniel Barnaby）概述了当时的状况：

毫无疑问，现在已经能用转炉和熔池少量生产出优质的钢，生产费用比十年前要低得多。而且，只要管理得严格而仔细，就可以生产出大批质量可靠的钢。然而，人们对钢仍然抱有极大的不信任感，私营造船商也许会说这些钢全不能用，只能用来制造渔船和很小的轮船，用来制造桅杆和帆桁……

在报告的结束部分，他写道：

我们必须向制钢商提出这样的问题：我们得到一种在使用时可以无须小心处理而又不必害怕和担心的材料的希望在哪里？

不久，在赖利（James Riley）领导下的兰道西门子钢铁公司（Landore Siemens Steel Company）回答了这一问题。这家公司采用西门子－马丁法炼钢，比老式贝塞麦转炉炼钢更能得到有效的控制，因此满足了海军部的要求，双方签订了一项为制造“彩虹女神号”（*Iris*）和“墨丘利号”（*Mercury*）快递船提供钢材的合同。

1877 年，英国皇家海军舰艇“彩虹女神号”在彭布罗克造船

厂下水，这在造船业中通常被看作钢船时代开始的标志。图184显示出造船业后来取得的迅速进展，记载了1878年至1900年克莱德塞德一些造船厂所造的铁船和钢船的吨位数。这一时期结束时，铁船制造的吨位数就像钢船在开始时的吨位数那样微不足道了。

材料的改变引发了强度增加需要规定钢板允许厚度的问题。人们已经注意到，一艘为偷渡而制造的船的钢板厚度只有等效的铁板厚度的一半。到1868年，劳氏船级社（Lloyd's Register）已经允许用比相应铁船铁板小1/4厚度的钢板来造船。最后，钢板的厚度被固定在相应铁板厚度的4/5上。推行这种改变是很容易的，因为当时习惯于用1英寸的1/16作为单位来度量铁板的厚度，采用钢以后若以1英寸的1/20作为单位来度量，相同的数字则同样适用。这种以1/20英寸为单位进行度量的习惯一直延续了许多年，不过现在的造船商采用了以1/100英寸为单位来进行度量。

374

用钢取代铁并没有引起船体结构布局的根本性变化。图192显示出“坎帕尼亚号”（*Campania*）（图版25）和“卢坎尼亚号”（*Lucania*）的结构布局，这两艘库纳德航运公司的快速轮船都是在1893年建造的，被认为代表了19世纪英国船舶制造技术的最高水平。除“大东方号”以外，它们是当时制造的最大的轮船。事实上，它们的船体大约长达80英尺、宽达17英尺、高达16英尺，远远小于“东方船”。然而，它们的上甲板上设有两层上部设施，“大东方号”却没有。当然，它们是按每艘载客1700人

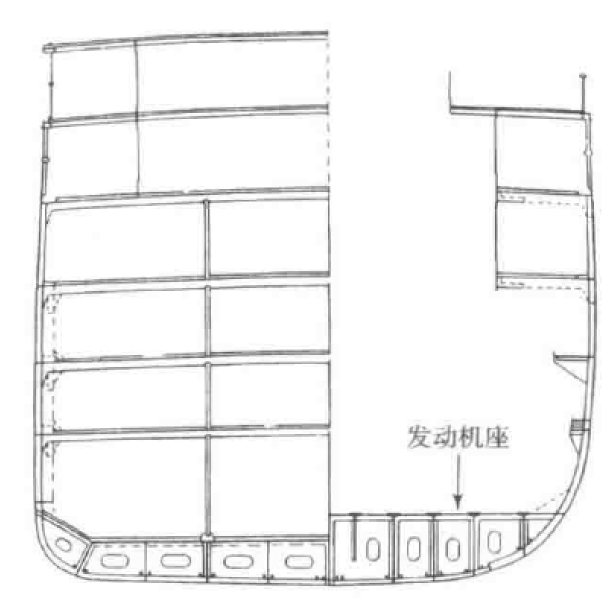


图192 库纳德航运公司的“坎帕尼亚号”和“卢坎尼亚号”快速轮船的中部结构截面图。

进行设计的，“大东方号”却能载客4000人。这两艘船上驱动两个螺旋桨的发动机功率约为3万马力，几乎是驱动“大东方号”明轮和螺旋桨的发动机（边码363）功率的4.5倍。事实上，“坎帕尼亚号”和“卢坎尼亚号”的发动机是英国为商船制造的功率最大的往复式蒸汽发动机。

图190和图192所示的两种船体结构之间的最大差别是后者具有双层底。现在已经规定，长度超过300英尺的客船必须安装完整的双层底。此外，双层底结构与图191所示的结构相比，也已经发生了变化，几乎成了双层底的定型结构。在内底和外底之间的整个高度上装设了底部肋板，肋板上面开有许多大人孔，以便于制造期间的工人出入和使用期间的维修；肋板上还开了一些小孔用于排水和通风。图190和图191所示的沿底部肋板顶部设置的那根中内龙骨，这时已经被内底和外底之间沿中心线纵向设置的一根中央桁材取代，该中纵桁则是靠一些角铁连接到顶部和底部的水平船壳上的一块垂直钢板，它是为便于建造而设置的，而不是必需的构件。只有在那种必须干泊在沿干船坞中心线排列的一列龙骨墩边的船上它才是必不可少的构件。由于增设了图192所示的那种中纵桁，图190和图191所示的那种角铁龙骨就不再需要了。布律内尔在“大不列颠号”和“大东方号”上都采用了平底船壳和这种中纵桁，图188也显示出这样的结构。然而，作为木船时代的遗存，这种远达不到要求的角铁龙骨结构仍然延续了许多年，而且在普遍采用双层船底的时期还能见到。人们可能认为，近似平的船底下的那个垂直凸出物对掌舵有一定帮助。“坎帕尼亚号”和“卢坎尼亚号”的这根平板龙骨，都是由双倍厚度的钢板构成的。

375

图190和图191所示的那种旁内龙骨，在图192中被装设在底部肋板之间的旁纵桁取代了。在后面的这幅图中，左边的中旁纵桁实际上从船头一直通到船尾，但这不是最常见的结构。旁内龙骨靠

角铁连接到底部肋板和内外船壳上，肋板则靠一根肋骨角铁连接到船壳板上并通过一根倒置的角铁连接到内层船底板上。在出现双层船底的初期，随着麦金太尔水箱（图 191）的使用，双层底的横向结构有时是一些靠角铁连接起来的分离的肘板片。然而，人们已经注意到减少加工部件的数量是降低造船成本的最好方法，这就需要采用双层底中从顶到底、从中心线延伸到船侧的大块肋板。因而，把这些肋骨角铁、倒置角铁和较小的连接用角铁，液压铆接到底部肋板上形成一个整体是必然的发展。

"坎帕尼亚号"和"卢坎尼亚号"的底部肋板的间距为 30 英寸，双层底的高度大部分为 56 英寸。为了给发动机提供一个足够坚固的基础，发动机下面的双层底高度增加到 90 英寸左右。此外，两根旁纵桁是连续的，肋板从中心线到船侧被分为三段。图 192 的右边显示出机舱区域的截面。

中纵桁和平板龙骨组合在一起便形成了一根便于装配结构元素的脊骨，它被放置在沿造船台中心线排列得很密的一列龙骨墩上。最常用的方法是把底部肋板连接到中纵桁上，并用一些撑柱支撑住肋板的外端，然后用双层底的边板（底边板）把这些肋板的外端连接到一起，再安装内外两层船底板。有时，会先铺好船底"平坦"部分的外底板，再把肋板固定在其上。通常是在安装侧舷肋骨之前，先安装好整个或几乎整个双层船底。

376

"坎帕尼亚号"和"卢坎尼亚号"的舷肋骨具有如图 187d 所示的槽形截面，这些肋骨从双层底的边缘一直延伸到上甲板，并且靠一些大型肘板连接到底边板上。和肋板一样，肋骨之间的间距为 30 英寸。一直延伸到上甲板下方的甲板上（图 192）的高腹板肋板构架，以一定的间隔沿着整个船体进行安装，甲板横梁是靠 3 排由内底向上延伸的支柱来支撑的球缘角铁（图 187e）。

这个时期，材料的加工方法与早期常用的方法没有什么不同。

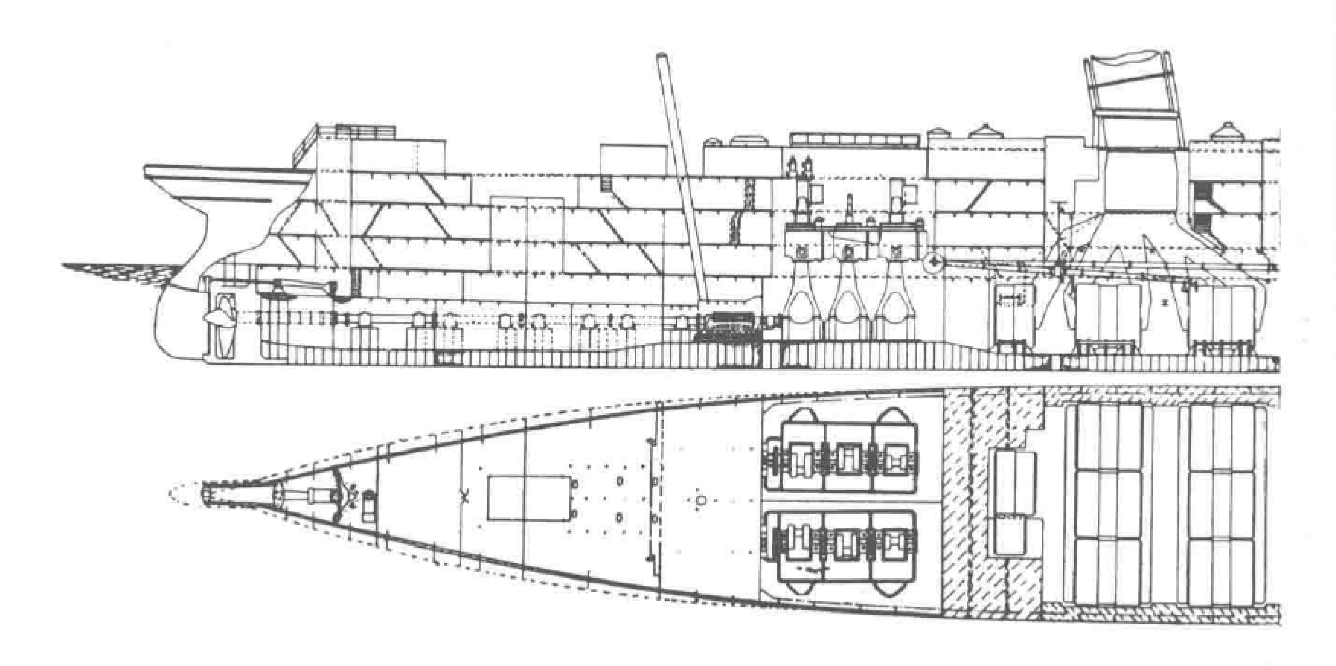


图 193 “坎帕尼亚号”和“卢坎尼亚号”的立视图和平面图（与下页图对接）。

肋骨被加热、弯曲并折出斜角，船壳板则大多被冷轧成圆筒形和圆锥形结合的形状。无论如何，如果需要使用弯曲度特别大的船壳板，就必须先将它们加热，再在模具和船台上锤打成型。但是，为了降低成本，配置船壳板时应尽量减少“用炉子加工”的钢板数目。处理更大、更重材料的能力是进步的标志。前面已经提到，“大东方号”的大多数船壳板长达 10 英尺、宽达 33 英寸、厚达 3/4 英寸，每块板重达 825 磅。“坎帕尼亚号”和“卢坎尼亚号”的船壳板长达 25 英尺、宽达 72 英寸，重达 2 吨，有些船壳板几乎宽达 96 英寸。此外，船壳板的顶部和双层底的大部分区域都采用了液压铆接方法。

377

为与“大东方号”（图版 24）的布局略图进行对比，图 193 显示出“坎帕尼亚号”和“卢坎尼亚号”的布局略图，它们的发动机、锅炉和煤占据了船底空间的绝大部分。不同的是，后两艘船的煤储量仅够做横渡北大西洋这样相对短程的航行，“大东方号”则试图携带足够用于环球航行的煤（边码 362）。“坎帕尼亚号”和“卢坎尼亚号”的煤仓容量粗略地表示了它们的速度成本。两艘船横渡大西

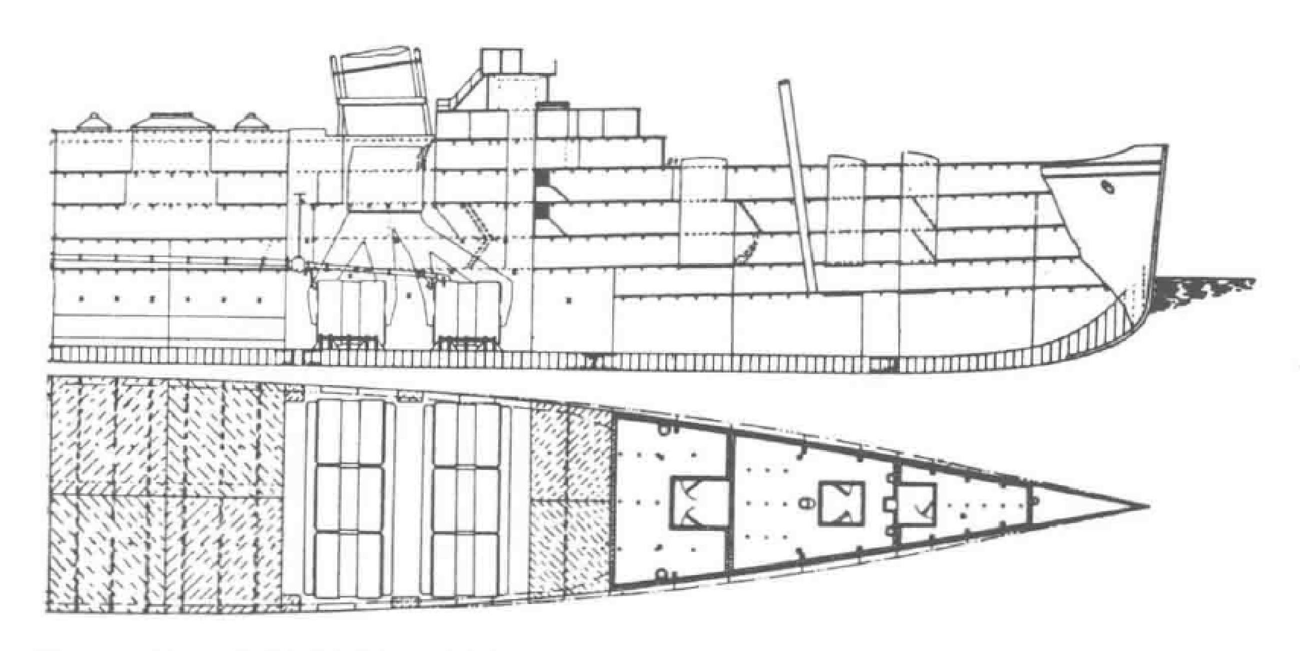


图 193 （续）“坎帕尼亚号”和“卢坎尼亚号”的立视图和平面图(参见图版 25)。

洋的速度大约是“大东方号”的 1.5 倍，功率是“大东方号”的 4 倍多，但由于发动机和锅炉的效率提高了，煤耗量却不到“大东方号”的 2 倍。拉塞尔在他的书中记述了“大东方号”在每小时 13 海里航速时的日煤耗量为 383 吨，这个数字与边码 365 处所给出的数字不同，有点令人怀疑。在产生 3 万马力左右功率时，“坎帕尼亚号”和“卢坎尼亚号”的日煤耗量约为 485 吨。比较这些数字可以看到轮机工程的进步。

图 193 中没有明确指出的一项进步是取消了所有的给船挂帆的装置。一般认为，如果船上只装一个螺旋桨，就必须装设挂帆的装置， 378 以供机器发生故障时使用。就在建造图 193 中的两艘船前不久，卡纳德航运公司大约在 1884 年制造了“翁布里亚号”(*Umbria*)和“伊特鲁里亚号”(*Etruria*)两艘快速轮船，它们都安装了单螺旋桨和全套的三桅帆船配备，前部和中部装有中桅和上桅，后部装有中桅。大约在 1888 年建造的“纽约城号”(*City of New York*)和“巴黎城号”(*City of Paris*)装有双发动机和双螺旋桨，机器损坏的危险性已经减到最低程度，但它们首次在北大西洋航行时，仍然装上了前桅的帆桁。约在

1889年，白星航运公司（White Star Line）拆除了配备双螺旋桨的“条顿号”（*Teutonic*）和“雄伟号”（*Majestic*）上所有的船帆。从此，船上的桅杆便成了单纯的支杆，仅用于悬挂航海灯、信号索、旗绳和装卸货物用的吊索。

16.8 货船

早期的远洋蒸汽船都是既载客又载货的。在北大西洋航线上，船速的竞争使得载客成了船舶设计的主要目标，各种船只仅仅装载少量的货物。在其他航线上，同时运载大量货物和旅客的做法却一直持续了许多年。不过，后来终于出现了一种只供运货的船。还没有人记载过货船发展的历史，但根据1894年在英国通过的《商船法》（*Merchant Shipping Act*），我们可以联想到通用货船的发展状况，这一法令对客运轮船规定的规则比对专门的货船要严格得多。在货船的甲板上，取代旅客卧舱的是进入货舱的大舱口和为提高装卸货物效率而设置的装卸器械。

图194是体现19世纪英国最高水平的一艘通用货船的外形设计图，图195则是其结构截面图。这类船是沃特利（Henry B.Wortley）为蓝烟囱航运公司（Blue Funnel Line）的远东航线所设计的，代表了普遍采用双层底结构以后船舶结构设计的主要进展。在较早的一些船上，货舱里紧密排列着一排排柱子（图190、图192），这给装载大件货物带来了极大的限制。为了装载方便，偶尔会拆掉几根柱子，被拆掉的柱子通常不能复原。码头装卸工也常常把这些柱子弄弯，使它们的功效受到损害。为了取代这些为支撑甲板而紧密设置的柱子，沃特利采用了一些纵贯船头船尾的大桁，每根纵桁由每隔一个舱设置一两根坚固立柱的方法来支撑。在图194的船中最大的货舱里，只有每边一根的立柱支撑着纵桁，但这些立柱已经不再是直径只有几英寸的圆柱，而是直径为21英寸的钢管（图195）。在其他的

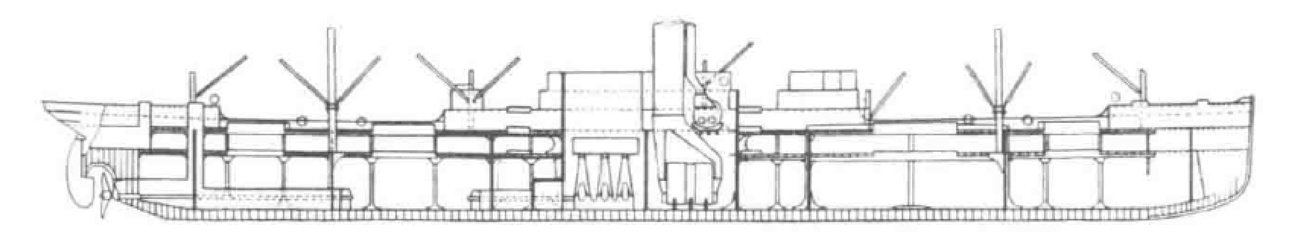


图 194　蓝烟囱航运公司的货轮立视图。它体现了 19 世纪英国通用货轮的最高水平。

大货舱里，每根纵桁由两根立柱支撑，这些立柱或是钢管制的，或是槽钢制的。利用贯穿整个船前端的设置在货舱口两边的纵桁，可以得到一种非常令人满意的船体结构。用纵桁和宽间距立柱支撑甲板，很快便成了一种固定的做法。

图 194 所反映出的一项小改进是在机舱前后安置两个较小的货舱，它们在必要时可以用来装载压舱水，以补充双层底中压舱水的不足。这些货船的另一个特征是，为确保迅速装卸货物，四个较大

380

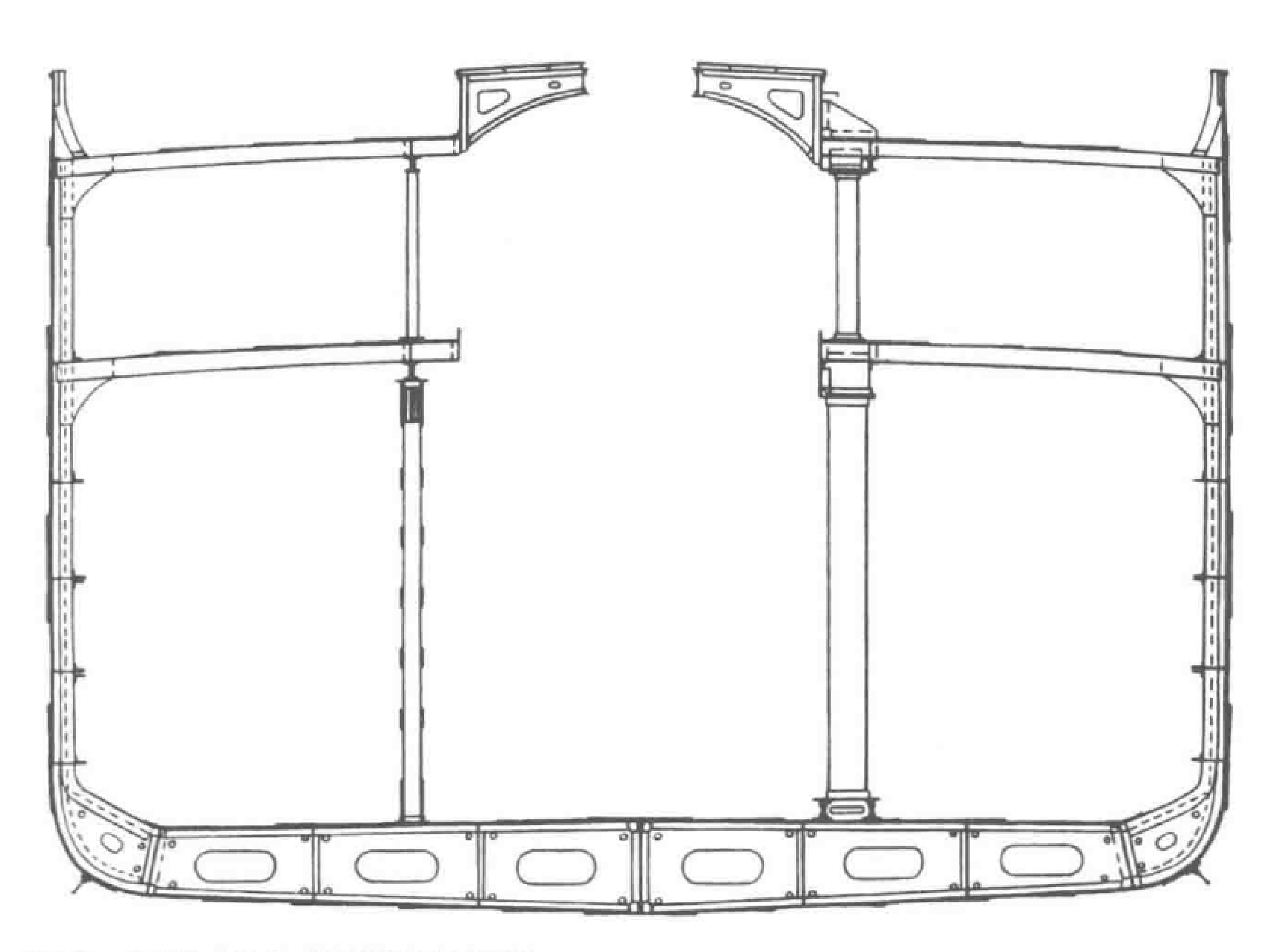


图 195　蓝烟囱航运公司的货轮结构截面图。

货舱口的两端都装有转臂起重机和卷扬机。除了官员和船员的居住舱室外，这种货船钢甲板上所有的木材覆盖层都被去掉了。但是，老水手们对用磨石和刷子来磨光木质甲板怀有感情，并不喜欢这一变化。

16.9 专用货船

在出现通用货船之前，人们很早就制造了专供运载某些货物的货船。最早的专用货船是运煤船，接着出现了运油船，石油是后来发现的一种替代燃料。早在18世纪中期，来自波斯的船就载着大量的原油横渡里海。但是，直到19世纪中期以后，运油船才从美国的油田出发横渡北大西洋。人们最初是把油装在油桶和油箱里运输的，甚至到19世纪末期仍然主要用这种方法。油桶运油的主要缺点是，装载1吨油要占据约80立方英尺的空间，尽管油本身的体积只有约45立方英尺。此外，购入价减去在卸货港被作为废金属变卖所得的油桶的净价价差，占到装运原油价格中相当可观的一部分。用油箱装油不那么浪费空间，但用木板保护的镀锡铁板油箱的价格与它所装的油一样贵，而且在卸油港也不得不当成废金属处理掉。无论是油桶还是油箱，共同的缺点是装油和卸油所耗的时间都相当长。

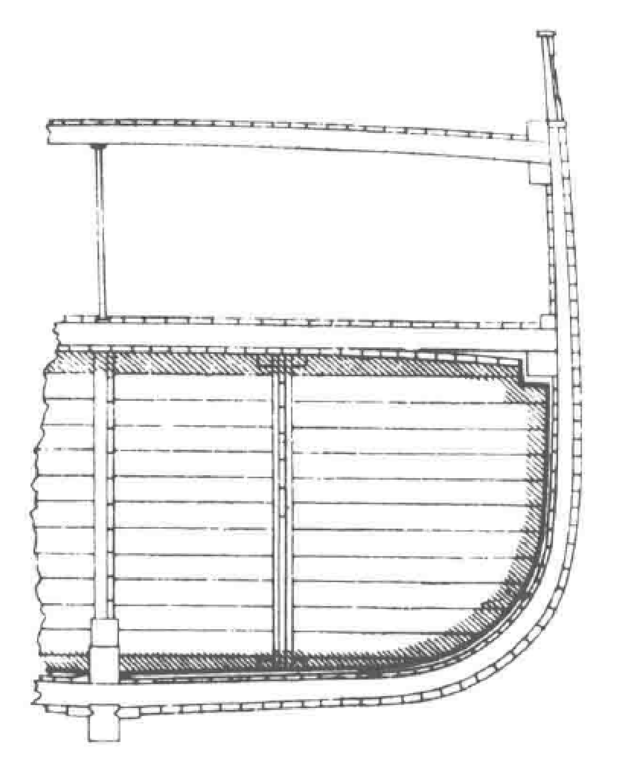


图196 一艘早期的油轮结构截面图。

第一艘装载散装油横渡北大西洋的油船可能是一艘木帆船，从1869年一直用到1872年，船上装有59个形状适合船

体的铁槽。图196显示出有明确记载的第一艘油轮的截面。这艘名为“林德斯内号”(*Lindesnaes*)船在挪威注册，在1878年改装成油轮。它在一直延伸到下层甲板的肋骨间装有双层的厚船壳板，两层船壳板间衬有油毛毡，在下层甲板的横梁下面设有一层船壳板，构成了油槽的顶。除了安装了一系列横向隔板把舱内空间分隔成一些独立的油槽外，沿船的中心线纵向设置了一层隔板，分隔的目的是限制油随着船的摇摆而左右流动，提高了船的横倾稳定性。此外，由于液体货物的剧烈运动会导致严重的损害，在纵向隔板分隔成的两个油槽的每一个半宽处设置了“防波板”，以减弱因船体运动引起的油在油槽中动荡所产生的力。这张图还附带显示出沿用到铁船中的一些木船结构特征，包括以后被转换成角铁龙骨的矩形截面龙骨和一根中内龙骨。在这艘船上，由矩形木料构成的中内龙骨为沿中心线安装间壁提供了方便条件。 381

1872年，第一艘专门用来运送散装油的蒸汽船在泰恩河畔问世。图197和图198分别显示了这艘“瓦德兰德号”(*Vaderland*)油轮的纵剖面轮廓和结构横截面。同“林德斯内号”一样，它的油舱为了同样的目的被中心线上的纵向舱壁所分隔。油大多装在第三层甲板以下的空间内，但每一个油舱的端部都有一个通到顶层甲板的膨胀阱，膨胀阱上设有供进出的舱口。膨胀阱的作用是在出现少量漏油事故时，能够确保油位不至于下降到主油舱的舱顶以下，这样就使得当船被海浪猛烈摇晃时，油可以在很宽的空间里流动。同时，膨胀阱还能应对泵入或注入船中的暖油变冷时产生的收缩。就像所有现代油舱一样，“瓦德兰德号”的机器都安装在船的尾部。 382

由于主油舱的边壁构成了一个完整的内层船壳，“瓦德兰德号”采用了一种不同寻常的肋骨结构。它的肋骨是横向排列的，从通常的角铁龙骨处沿着船壳板的内侧延伸至上层甲板，倒置肋骨则固定

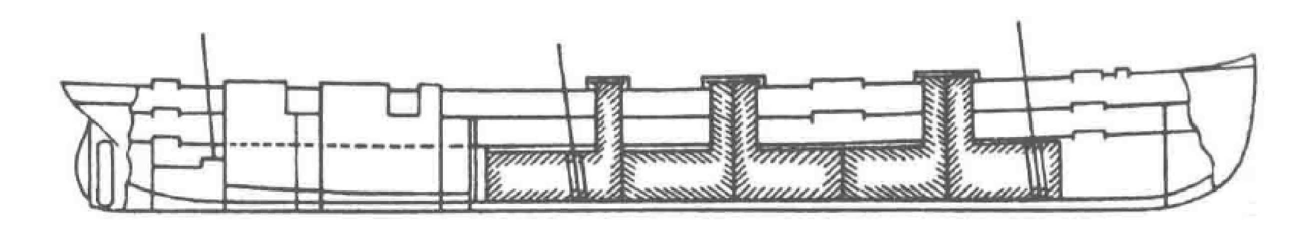


图 197　第一艘蒸汽油轮——“瓦德兰德号”的立视图。

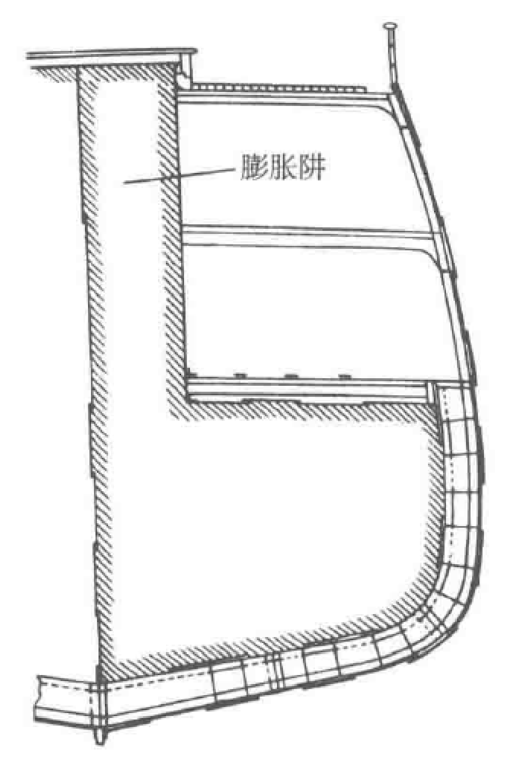


图 198　“瓦德兰德号”的横截面图。

在油舱的外侧，并从中心线延伸至第三层甲板。虽然底部肋板并没有从中心线向舷外方向延伸得很远，但它们上方的肋骨和倒置肋骨保持一定的间隔，用一些横跨在船壳板和油舱之间的间隙上的铁板连接起来。这种结构为制造和维修提供了足够大的出入通道，不过也存在着严重的隐患，从油中挥发出来的油气会积聚在油舱周围的空间里。大约过了 15 年，人们才开始把船壳板用作油舱的外壁。

然而，“瓦德兰德号”一直没有被当作油轮来使用。尽管它本来是为通往安特卫普港的石油贸易而建造的，但港口当局不允许在港口安装储油槽。无奈之下，一份有利可图的用于其他货运目的的合同，使它背离了原先的建造目的。继“瓦德兰德号”后，还有几艘陆续建成的油轮因为类似的原因改运其他货物，延缓了专项贸易的经验积累。

图 199 显示了 19 世纪末期制造的一艘油轮的横截面。由图可见，膨胀阱在垂直方向上只是两层甲板的距离，水平长度则等于油舱的总长度。膨胀阱两边的空间被用作储煤舱，煤是当时蒸汽轮上的唯一燃料。这艘油轮没有设置双层底，因为油舱也可用来装载压舱水。油与一般货物不同，只是单向运输。油轮的肋骨结构是横向安置的，因为

383

这一结构的任何部分都不应穿过油密舱壁。因此，主球缘角铁肋骨只能向上延伸到下甲板，在那里靠肘板固定到横梁上。在下甲板上方，角铁制成的肋骨通过肘板连接到下甲板和上甲板横梁上。上甲板横梁既不穿过中心线上的纵舱壁，也不穿过膨胀阱的侧壁，它们的长度很短，只是跨越纵向垂直板之间的距离，并通过一些肘板连接在板上。

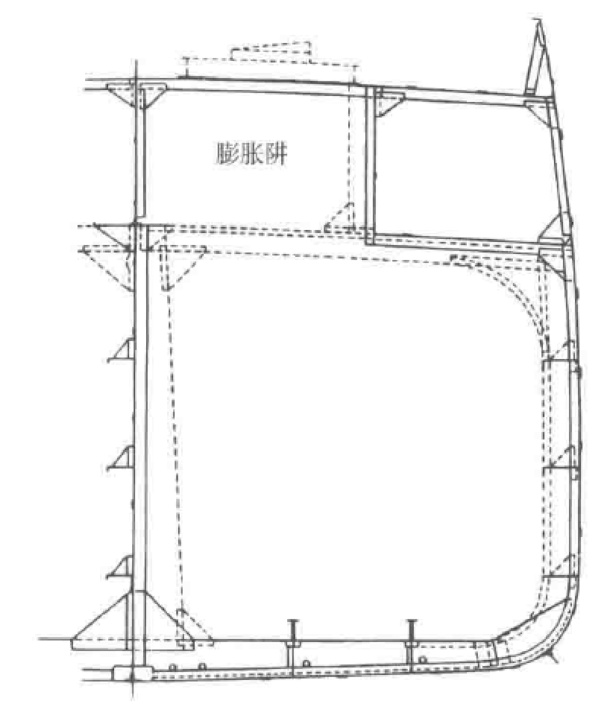


图 199　19 世纪末期油轮的结构截面图。

经验很快就证明，为了经受住由液体货物即使是受约束的晃荡所引起的冲力，必须提供一种非常坚固的结构。为此，除了密布那些分隔油舱的舱壁起到支撑作用以外，每个油舱的侧壁上以及在下层甲板的平面上还要设置 3—4 个横向腹板（边码 360），它们要与中心线舱壁上的腹板相连接。此外，还要安装一些坚固的纵向内龙骨和纵桁。虽然这些材料的加工方法与干货货船没有什么不同，但铆接时要更加细心。普通货船在出现少量渗水时，只要有些微小锈蚀就会填满缝隙，因而通常很快就会停止渗水。但是，渗油不会锈蚀金属，油舱必须铆接得非常好。

散装运油的一个很大的好处是可以迅速把油注入或泵入船舱里，然后在港口卸货时迅速地把油泵到岸上。在装卸上耗时过多，对船主来说是很不利的。

16.10　操舵装置

在蒸汽发动机用于操纵船舵之前，它作为船舶推进的动力已经有大约半个世纪之久了。甚至在庞大的“大东方号”上，最初

也是用人力操纵船舵的。那时，手动操舵装置通常由一个绕有几圈钢丝绳或铁链的纵向舵辊组成。钢丝绳或铁链的一端绕过船的左舷导向滑轮再返回到舵杆上，另一端则绕过右舷导轮再返回到舵杆上。舵轮带动舵辊转动，使舵辊一侧绞进钢丝绳或铁链，另一侧则放出钢丝绳或铁链，从而使舵杆和船舵转动。约在1860年，一艘美国船第一次利用蒸汽发动机转动舵辊。这台发动机的轴与舵辊的轴平行，通过齿轮来连接。滑阀以通常的方式让蒸汽进入汽缸，使得舵辊能沿正反两个方向转动。但是，控制滑阀的偏心装置是安装在一根单独的转轴上的，转轴通过与发动机轴和舵辊轴之间齿轮齿轴装置对应的一组齿轴齿轮装置由舵轮驱动。看上去，这种操舵装置设计依据的是发动机的转动与舵轮的转动严格一致的假设。当时人们好像并没有认识到，海中航行时舵的受力会发生剧烈变化。可能这种装置的作用并不能令人满意，所以它很快就被拆除了。

1867年，第一种符合要求的蒸汽操舵装置安装到了“大东方号”上，它是由后来任贸易委员会总工程师的格雷(J. Macfarlane Gray)设计的。和早先的蒸汽操舵装置一样，发动机通过一组小齿轮齿轮装置来驱动舵辊。这种装置的主要创新是控制发动机的方法，这种控制方法后来几乎一直没有什么变化。

图200显示出格雷的控制装置——通常被称为随动装置(hunting gear)——的基本特征。钟形曲柄控制着安装在控制汽缸进汽用的两个滑阀之间的一个阀门的运动，当这个阀门处于中央位置时，蒸汽就不会流向滑阀，否则蒸汽就会根据阀门的偏离方向进入滑阀室的一边或另一边，所以它既能起回动阀的作用，又能起节流阀的作用。钟形曲柄的动作由一个安装在垂直螺杆上的轴环来控制，螺杆则在一个与伞齿轮连在一起的螺母里运作，由一个齿轮带动，这个齿轮则与由舵轮驱动的操纵杆上的另一类似齿轮啮合。如果操

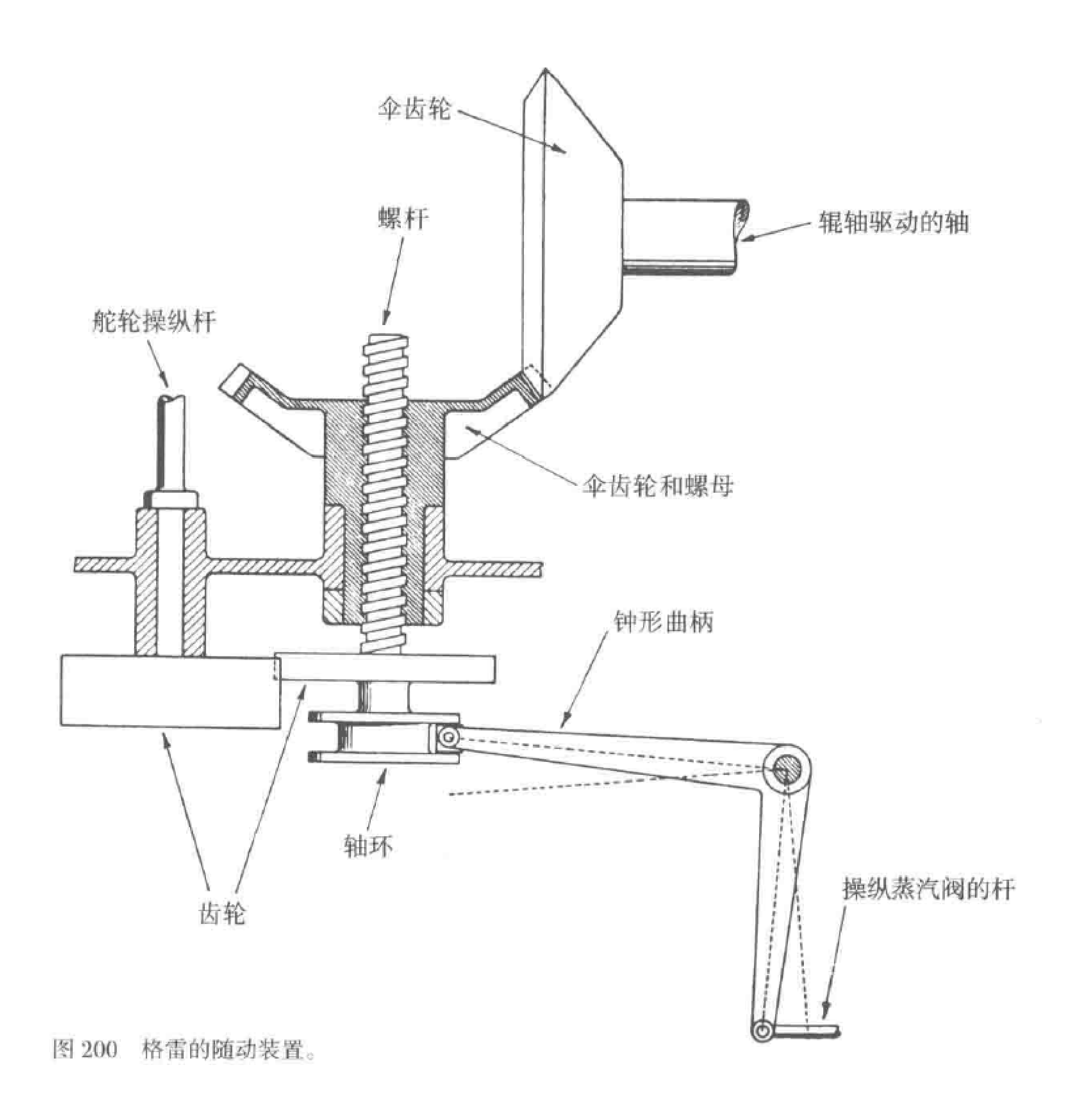


图 200　格雷的随动装置。

纵杆在螺母和伞齿轮固定的情况下被驱动，螺杆必然会根据操纵杆的旋转方向而上升或下降，从而使轴环随之上升或下降，带动钟形曲柄，使中央阀变位。操纵杆上齿轮的齿必须做得足够深，以免螺杆在做垂直运动时啮合松脱。另一方面，如果伞齿轮和螺母的旋转速度和方向与螺丝杆的相同，轴环则既不会上升也不会下降，钟形曲柄也将不会受到影响。

伞齿轮实际上是靠舵辊轴（就像在“大东方号”上那样）或发动机轴来驱动的，运转状况是上面提到的各种状况的组合。由舵轮驱动的操纵杆的转动会使轴环上升或下降，从而开启了中央节流阀，

而且还决定了发动机的旋转方向。当节流阀开启得足够大时，发动机开始旋转（开始时是慢速的），这就使伞齿轮和螺母按照与螺杆相同的旋转方向进行旋转。螺杆和轴环的垂直运动先是减慢，然后在

385 发动机转速足够高时停下来。然而，由于操纵杆停止旋转后，发动机仍然继续旋转，因而螺杆和轴环将再度做垂直运动，只是变成相反的方向。这种运动一直持续，直到中央控制阀被关闭且发动机停止运转时才会停止。这样，操舵发动机与舵轮的旋转方向和持续时间便完全一致了。

安装在“大东方号”上的这种操舵装置被使用了许多年，后来的唯一重大变化是操舵发动机被移到了发动机机房里，以便工程师能够更有效地进行监控，而不像在最初的装置中那样被放在靠近舵的位置上。船舵由一些在辊子上缓慢移动的拉杆和链条控制，在直线控制时用拉杆，在方向需要改变时则用链条。在船尾，链条与舵座上的一个扇形轮相连接，链条上装有弹力很大的螺旋弹簧，以缓冲汹涌海浪所带来的冲击。这种装置不太有效，而且维修费用很高。直到19世纪

386 末期，后来普遍采用的操舵装置才出现。在这种装置中，发动机传动轴上的一根蜗杆与安装在舵座上但并不固定死的一个扇形齿轮相啮合，扇形齿轮的正上方有一个固定在舵座上的舵杆，它通过每边一个的螺旋弹簧与扇形齿轮相连接。这样，发动机就以扇形齿轮为媒介操纵舵杆。缓冲因舵受到冲击力而施加在扇形齿轮的齿上和蜗杆上的重压，这是安装弹簧的目的。

16.11 应用流体力学的发展

造船学会的头几卷会刊里，简述了船舶设计师在技术细节方面的发展状况，指出这些技术细节属于流体静力学和结构基本理论方面的问题，还描述了一些在当时很不寻常但现在很普通的计算。所有这些发展，几乎都建立在一个多世纪以前由布格所奠定的基础之

上（边码 353）。然而，采用蒸汽推进方法带来了一个新问题，那就是怎样确定达到要求速度所必需的功率。布格等人曾经试图把表示船舶阻力的定律公式化，但在采用了能够测出功率的机器之后，这种公式必须比帆船时代的公式更精确。1868 年，英国造船协会在诺里奇举行的一次会议上，人们在这方面迈出了最初的几步，提出应该针对船舶推进问题进行试验研究。会议决定，成立一个委员会来研究最佳的试验方向和方法。在 1869 年的埃克塞特会议上，这个委员会向协会提交了一份报告。在一人反对的情况下，会议通过了一项请求海军部批准把一艘或几艘英国皇家海军军舰拖到静水水域中做试验的议案，因为在这种条件下可以准确地测定速度和阻力。唯一的反对者是弗劳德（William Froude，1810—1879），他是一名职业土木工程师，也是布律内尔的朋友。因为在造船学会第二次年会上发表了一篇关于船舶摇晃的论文，弗劳德在造船学家中享有盛誉。

弗劳德之所以反对那项议案，是因为他相信用模型进行试验可以经济地对各种船形和尺寸进行研究，并且可以得到比用船进行有限范围的试验更为可靠的知识。此前，曾经有人进行过一些模型试验。1765 年在英国出版的一本关于造船的书中，可以看到一些粗糙的模型试验。几乎与此同时，类似的试验也在法国进行。18 世纪末期，一个父母都出生在英国的瑞典人查普曼（Chapman）做了一些更为精确的试验。然而，这些早期的模型试验存在着一个严重的原则性错误，都没有认识到需要把模型和船的速度用一个与它们尺寸有关的比例联系起来。直到约 19 世纪中期，著名的法国数学家贝特朗（Joseph Bertrand，1822—1900）发展了很久以前由艾萨克·牛顿爵士（Sir Isaac Newton）发表的一条定理，并最终确立了与试验模型船的速度和尺寸有关的一般原理。1852 年，法国造船学家雷施（Frédéric Reech，1805—1874）把贝特朗的一般原理应用到船舶模型上。不过，他并没

387

有做任何试验，因为他意识到了摩擦力的存在，并认为摩擦力不会遵从贝特朗所确立的原理。

弗劳德也意识到了摩擦力的存在，但他坚决认为摩擦力是完全独立于其他力的，而且也适合进行简单计算。在此基础上，他提议先测出合力，再减去计算出的摩擦力，然后再把贝特朗原理应用于剩余的力——“剩余”阻力。海军部没有同意委员会用船做试验的请求，而是为弗劳德的模型试验提供了基金。第一个现代化的船模试验池是一条长沟渠，在托基附近的弗劳德家旁边的一块地上挖成。沟渠上横跨着一台能在轨道上行驶的车，由一台蒸汽卷扬机牵引，船模通过一个标有刻度的螺旋弹簧连接到车上，这样就可测得牵引力。此外，还有测定车速的装置。

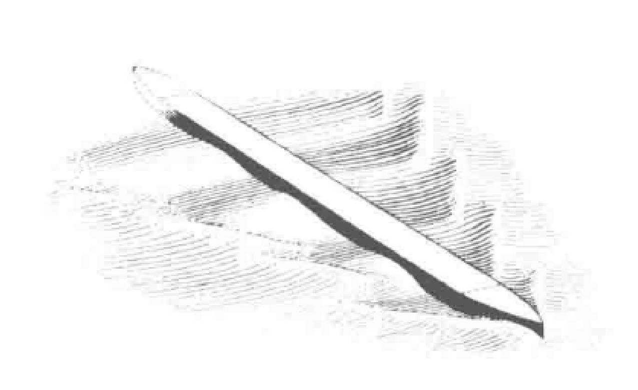


图 201　弗劳德画的船模前端的波形草图。

图 201 是弗劳德在一个试验中画的一张草图的复制品，显示出在模型前端产生的波形。这种波形的产生使弗劳德意识到，可以把除去由摩擦产生的阻力以外的阻力称为“兴波”阻力。后来，威廉·汤姆森爵士（Sir William Thomson）——后来的开尔文勋爵（Lord Kelvin，1824—1907）——用作图法给出了表达由一种运动的“压力点”引起的水面上扰动的方程，如图 202 所示。图中的线条代表波峰，压力点产生一系列逐渐扩展的波浪，这些波浪被限制在从压力点辐射出去的两条直线之间。图 201 和图 202 具有明显的相似性。事实上，如果在理想条件下从船头进行仔细观察，就可以画出图 202。因此，把波浪看成船在水中穿过时引起的压力变化的可见形式似乎是合理的。从流体动力学角度来看，压力的峰值存在于船的前端，在多数情况下（但不是所有

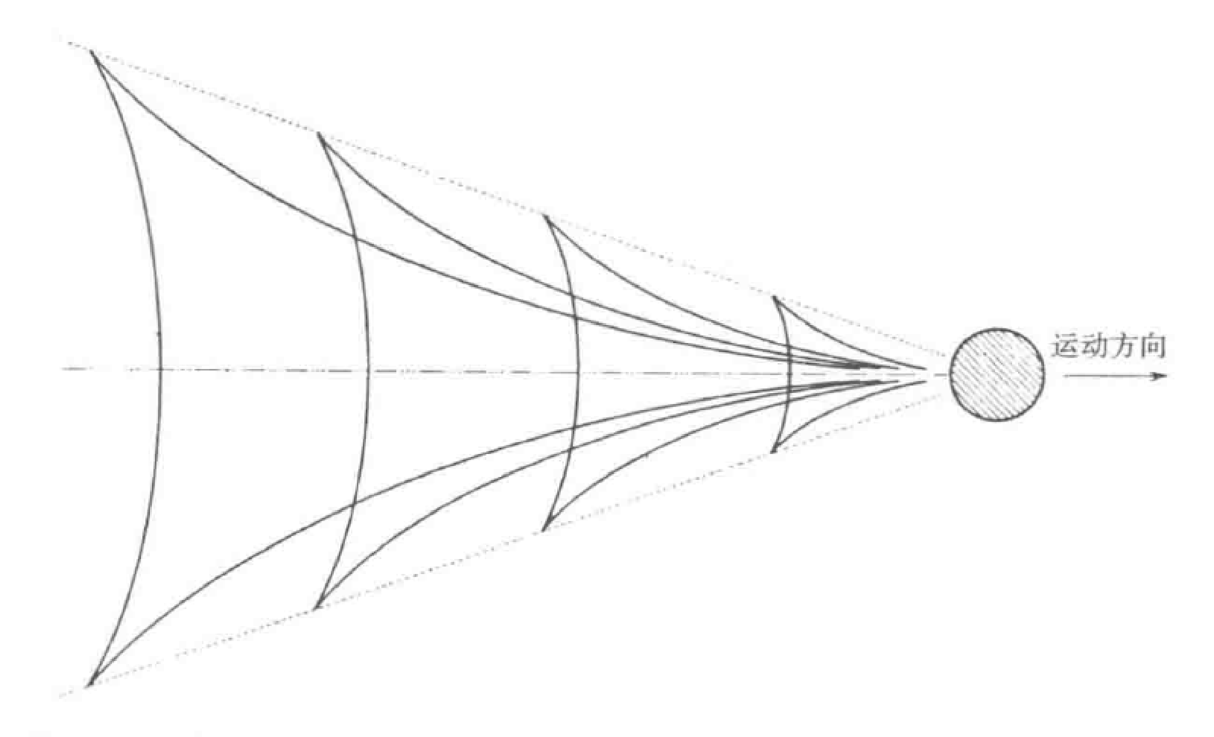


图 202　开尔文画的由一种运动的“压力点”产生的波列图。

情况），船的末端存在着较小的压力峰值。

弗劳德确信，不论是模型还是实船，对于所受摩擦力或阻力的测定都能够归结为对一块纵向移动的长而薄的板的摩擦阻力的测定。因此，可以首先利用船模试验池测定一系列以各种速度拖曳的薄板所受的阻力，进而得出关于摩擦阻力定律的公式。根据这一定律，就可以计算出船模在各种速度下的摩擦阻力，并可以根据这一计算结果，在测得这些速度的总阻力的情况下，经过推导计算出“剩余”阻力（或称“兴波”阻力）。这些剩余阻力适用于由贝特朗提出并由雷施扩展的原理，如果实船和模型的速度比等于它们长度的平方根之比，那么实船和模型的阻力比是它们长度比的立方。换句话说，如果实船的长度是模型长度的 16 倍，并且实船的速度是模型速度的 4（$=\sqrt{16}$）倍，船的剩余阻力则是模型剩余阻力的 16^3 倍。

尽管拒绝提供一艘或几艘船以满足英国造船协会的那个委员会的愿望，海军部还是不得不提供了两艘船用于检验弗劳德方法的可

靠性，其中一艘用作拖船，另一艘用作被拖的船。被拖的船叫“灵猩号”(*Greyhound*)，它在一系列速度下的总阻力靠一个装在拖绳上的可记录的测力计来测定。图203显示出一组试验的结果。最上面的那条曲线表示测得的阻力与速度之间的关系，上部的阴影区表示根据模型的剩余阻力计算出来的剩余阻力的变化，下部的阴影区表示由薄板试验测得的摩擦阻力的变化。

弗劳德并没有用上述图表的形式给出“灵猩号”试验的结果，但他的试验被人们用来验证用船模试验测定船所受阻力的方法的可行性。弗劳德的船模试验池在世界各地得到许多仿效，他的模型试验专项基金追加了许多次，但问题还是没有得到圆满解决。1957年在建的一个船模试验池的估计花费，相当于弗劳德所建船模试验池费用及其试验费用总和的1000倍。到20世纪中期，人们已经意识

390

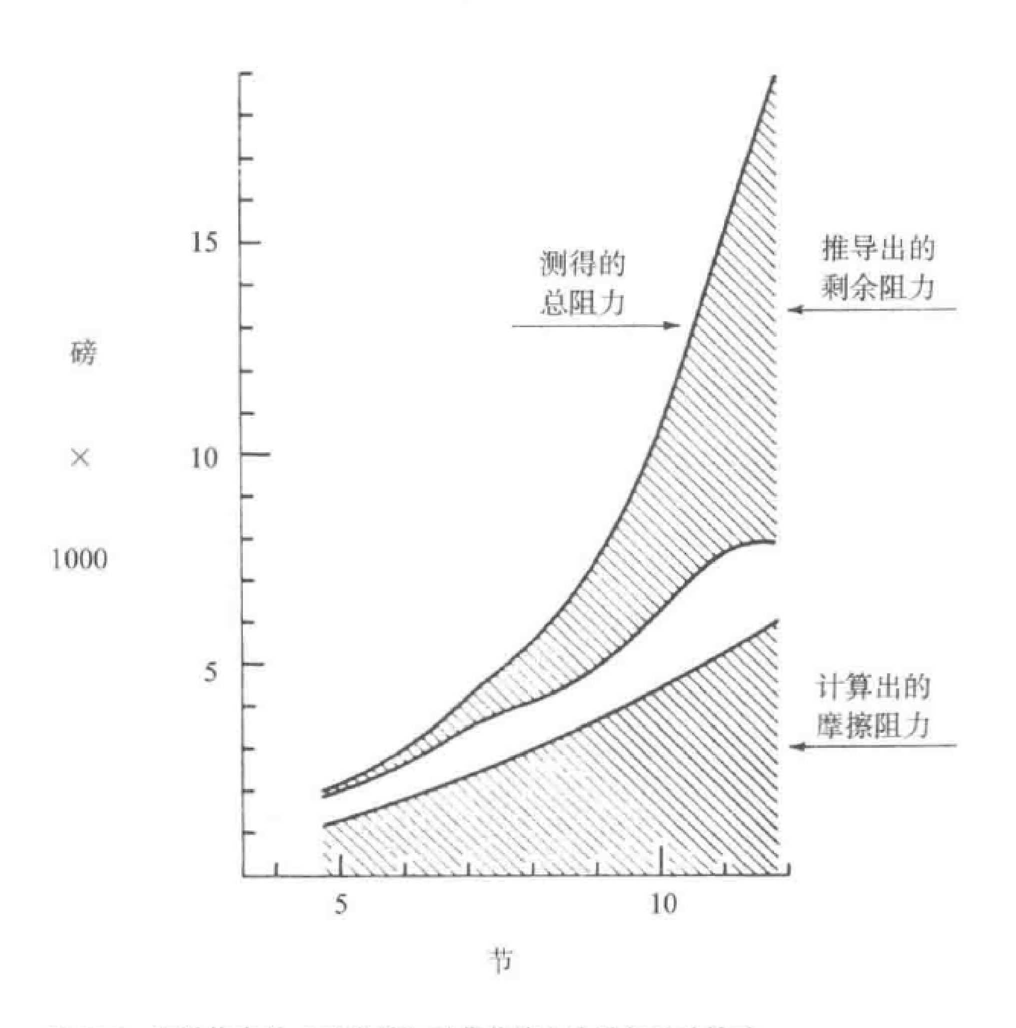


图203 用被拖曳的“灵猩号”对弗劳德方法进行试验检验。

到弗劳德的方法中存在某种未知原因而导致的错误，对于“灵猩号”的试验来说，图 203 的两片阴影之间的空隙就表明了这一点。人们还没有对错误的来源或用什么方法纠正错误取得一致意见，因为技术还未终结。

参考书目

Bouguer, P. 'Traité du navire.' Paris. 1746.

Brunel, I. 'Life of I. K. Brunel.' London. 1870.

Fairbairn, Sir William. 'Iron Ship Building.' London. 1865.

Grantham, J. 'Iron Ship-building.' London. 1858.

Holmes, G. C. V. 'Ancient and Modern Ships.' Science Museum, London. 1906.

Pole, W. 'Life of Sir William Fairbairn.' London. 1877.

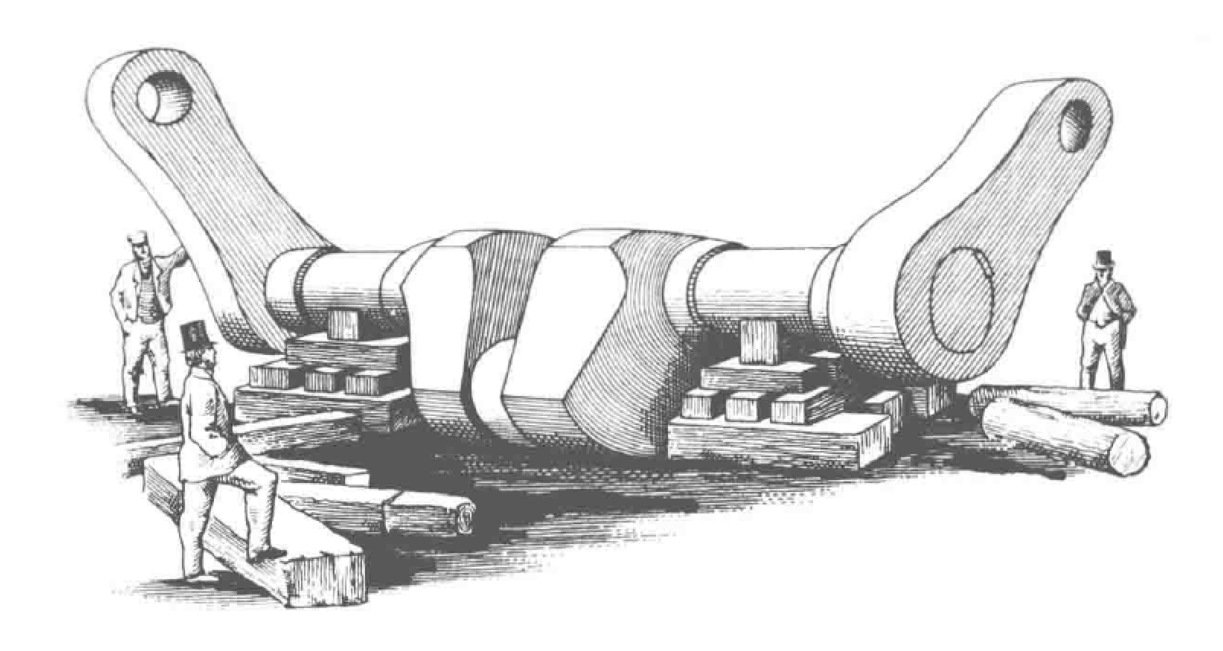
Rankine, W. J. Macquorn (Ed.). 'Shipbuilding, Theoretical and Practical.' London. 1866.

Reed, E. J. 'Shipbuilding in Iron and Steel.' London. 1869.

Russell, J. Scott. 'The Modern System of Naval Architecture.' London. 1865.

Walton, T. 'Steel Ships.' Griffin, London. 1901.

亦见 *Transactions of the Institution of Mechanical Engineers*, *Transactions of the Institution of Naval Architects*, 和 *Transactions of the Institution of Engineers and Shipbuilders in Scotland.*



"大东方号" 明轮发动机的中间轴。

第17章 航 空

彼得·W. 布鲁克斯（Peter W. BROOKS）

17.1 莱特兄弟

1903年12月17日，在美国东海岸北卡罗来纳州的基蒂霍克，人类终于征服了天空。这一天，一位年轻的自行车制造者奥维尔·莱特（Orville Wright，1871—1948），在人类历史上第一次进行了有动力的、持续的、受控制的飞行（图版23B）。1903年夏天，奥维尔和他的哥哥威尔伯·莱特（Wilbur Wright，1867—1912）在俄亥俄州代顿的家里，组装了他们的"飞行者号"（*Flyer*）——一种简单的推进式无尾双翼飞机，飞机的动力由他们自己设计制造的一台12马力汽油发动机提供（参见图204）。这一人类历史上的首次飞行在平坦沙地的上空进行，仅仅持续了12秒钟，飞行距离是40码，高度不过几英尺，空速大约每小时30英里，但是，这架飞机是在驾驶员的完全操纵下沿着水平方向直线飞行的，而且无损坏地着陆在与起飞点同一高度的一个地点，满足了一次成功飞行的所有条件。这次尝试被全世界负责任的舆论接受为比重大于空气的动力飞行时代开始的重要标志，而比重大于空气的动力飞行已经成为20世纪最重要的技术发展之一。

1903年的这一天，在奥维尔·莱特那12秒钟飞行之后，还有3次时间较长的飞行，它们多少也是直线的、靠近地面的飞行，其中两

次是他哥哥进行的，另一次是他自己进行的。这几次飞行巩固了最初的那次成功，时间最长的一次持续了 59 秒钟，飞行距离大约为 280 码。不久，“飞行者号”因被大风刮翻而毁坏，莱特兄弟被迫结束了他们在这一年的飞行。

1904 年，在代顿附近的锡姆斯车站（Simms Station），莱特兄弟用一架有所改进但仍然类同的飞机进行试验。这次飞行在一片平坦的草地的上空进行，如同在基蒂霍克那样，飞机从水平放置于地面的一段单轨上起飞。然而，与在基蒂霍克的试验不同的是，上次的起飞没有助动力，这一次则是用一种弹射装置发射出去的。这种装置主要是一套滑轮绳索系统，所用的能量由一个下落的重物提供。在 1904 年的飞行试验中，飞行时间加起来大约有 45 分钟。这些飞行的重要性不仅在于它们持续了比以前长得多的时间——其中有两次大约持续了 5 分钟，而且在于莱特兄弟解决了水平直线飞行之外的其他飞行方式的控制问题，可以随意地操纵他们的飞机。这一点是上一年没有解决的。

392

第三架“飞行者号”与前两架类同，是在 1905 年组装的，它为人类飞行的成功提供了最终的证据。莱特兄弟用这架飞机做了多次圆周飞行，其中一次用时 38 分 3 秒，飞行了 24.5 英里，已经达到实用性飞机的水平。于是，莱特兄弟停止了飞行，把精力集中于设计和组

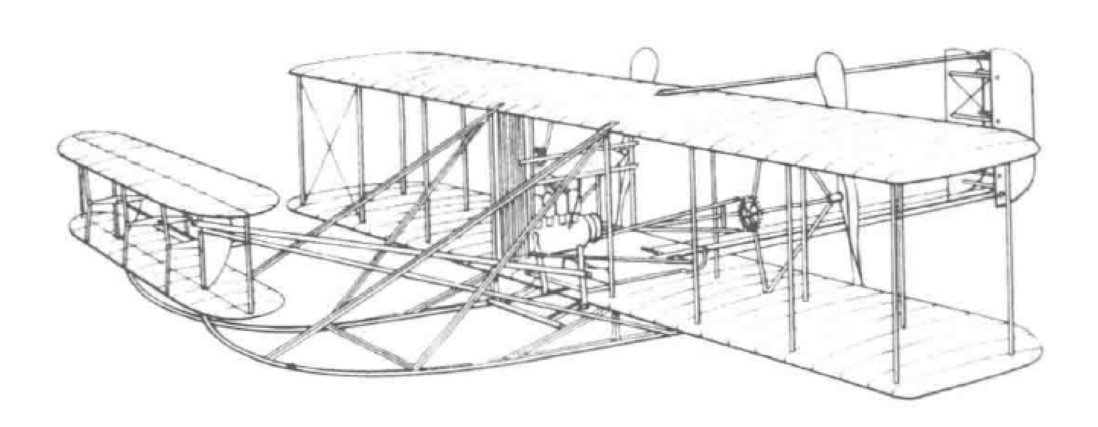


图 204　1908 年莱特兄弟的双翼飞机。1903 年那架最早的“飞行者号”与其极为相似（图版 23B）。操纵是用前置双升降舵（在左侧）、后部的双方向舵和机翼扭转实现的。

装经过改进的飞机和发动机上。同时，他们也同各地政府进行谈判，争取财政资助，用以继续他们的研究。然而，令人难以置信的是，美国新闻界全然无视他们的成功，这显然是因为当时人们对人类飞行的可行性普遍持怀疑态度。因此，几乎没有人知道或相信人类已经能够飞行，这让莱特兄弟在开发的过程中遇到了极大的困难。两年半过去了，到 1908 年初，美国政府终于同他们签订了购买一架飞机的合同。同时，一家根据莱特兄弟的设计进行组装的公司在法国成立。于是，他们恢复了飞行试验，1908 年 5 月先在美国进行。1908 年 8 月 8 日，他们前往欧洲，在勒芒附近的于诺迪埃尔（Hunaudières）赛马场试验飞行。

在这一时期，欧洲也有人独立地成功进行了有动力的、持续的、受控制的飞行。1906 年 10 月 23 日，在巴黎附近的巴加泰勒（Bagatelle），巴西人桑托斯－杜蒙（Alberto Santos-Dumont，1873—1932）进行了他的首次比重大于空气的飞行，成功地用"桑托斯－杜蒙 14 乙号"（*Santos-Dumont 14 bis*）飞机贴近地面沿直线飞行了 65 码。这是一种尾翼前置式的推进式双翼飞机（图 205），装有一台 50 马力的安托瓦内特（Antoinette）汽油发动机。11 月 12 日，他又进行了三次飞行，距离最长的一次达 240 码。但是，巴西人的这架飞机远不是像莱特兄弟飞机那样的实用性飞行机器，把这次成功的开端继承下去开辟新的发展道路的任务，落在了欧洲其他一些

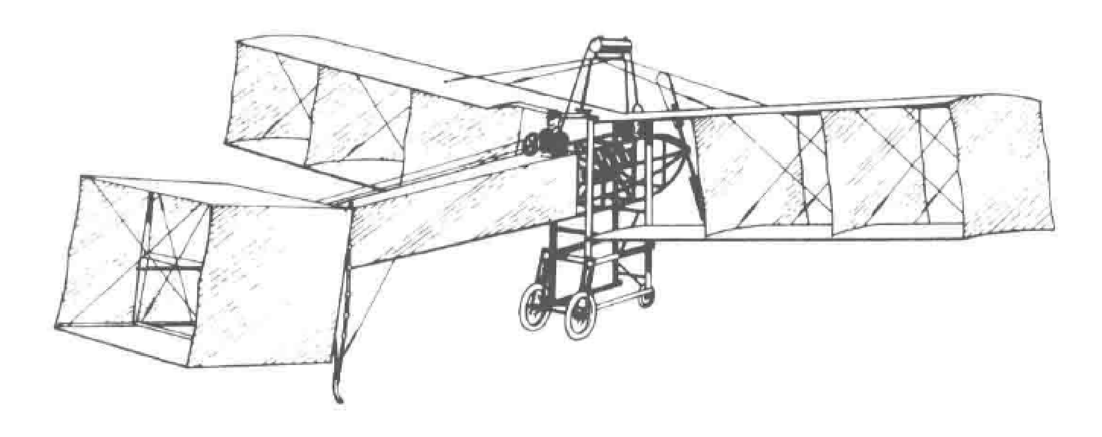


图 205 "桑托斯－杜蒙 14 乙号"飞机，1906 年在欧洲成功地进行了首次有动力的飞行。

设计家的身上，例如瓦赞（Voisin）兄弟、布莱里奥（Louis Blériot）、埃斯诺－佩尔特里（Robert Esnault-Pelterie）和德皮朔夫（Alfred de

393

Pischof）。在单翼飞机的发展方面，1907年就有几种在设计上颇具潜力的单翼飞机成功地进行了首次试飞。到1908年，当莱特兄弟第一次到欧洲展示他们的双翼飞机在当时无可比拟的优越性时——后来的发展表明这种优越性是短命的，欧洲的许多先驱者正在成功地进行飞行，在注定以欧洲（特别是法国）为中心的飞机事业的飞速发展过程中，最为关键性的第一个阶段已经来临。这一事业以一种高节奏持续发展，直到1914年战争爆发，给它的进一步发展带来了新的目标和重点。

17.2 实用航空的开端——最早的气球升空

从1850年到1900年，人类走完了导致20世纪初出现比重大于空气的实用性飞行器，实现千百年来飞行梦想的最后几步。虽然在这一技术领域的发展过程中，最重要的进展是19世纪发生的，但人类的飞行尝试可以回溯到许多世纪以前。不过，关于这些早期思想和实验的大多数记叙，不是传说性的也是缺乏历史文献的，因此不必予以仔细考察。

最有名的飞行传说是关于代达罗斯（Daedalus）和他儿子伊卡罗斯（Icarus）的神话。他们想从监禁他们的克里特岛上逃出去，方法是用羽毛制造人工翅膀，再用蜡粘在手臂上飞行。伊卡罗斯没有听取父亲的劝告，飞得靠太阳太近，结果太阳把蜡融化了，他落海而死。另一个故事是关于不列颠国王布莱达德（Bladud）的传奇，据说他在公元前852年试图飞行时丧生。还有一个故事讲的是阿契塔（Archytas of Tarentum，公元前4世纪），传说他制作了一只能飞行的木头鸽子。

394

这些故事或许有些事实根据，但它们的意义在于反映了人类早

期对飞行问题的兴趣。在飞行历史上留下名声的人，还有“君士坦丁堡的撒拉逊人”(Saracen of Constantinople) 和奥利弗 (Oliver of Malmesbury)(这两者都生活在11世纪)、丹蒂 (G. B. Danti, 1503年)、达米安 (J. Damian, 1507年)、贝尼耶 (Besnier, 1678年)、巴克维尔侯爵 (Marquis de Bacqueville, 1742年) 和贝尔布林格 (A. L. Berblinger, 1811年)。所有这些先驱者之所以被人们记住，是因为他们为自己装备了人工翅膀 (毫无疑问，其他许多被遗忘的人也是这样)，带着实现扑翼飞行或者 (也许是) 滑翔飞行的期望，从高处纵身跳下。一些人在试验中幸存了下来，另一些人则没有。然而，他们中没有谁能取得足够大的成功，所以从未激起人们的立即仿效。

在人类飞行的领域中，作为与实验家不同的另一类人，早期的思想家有13世纪的罗吉尔·培根 (Roger Bacon) 和大阿尔伯特 (Albert the Great)，有14世纪的阿尔伯特 (Albert of Saxony)，还有肖特 (Caspar Schott) 以及迄今最重要的列奥纳多·达·芬奇 (Leonardo da Vinci)。达·芬奇是15世纪的旷世奇才，在艺术方面和科学方面产生了广泛的影响。列奥纳多提出了降落伞、直升机和扑翼机 (图206) 的设计方案，用了许多时间研究鸟的飞行。如果他的著作没有被延迟

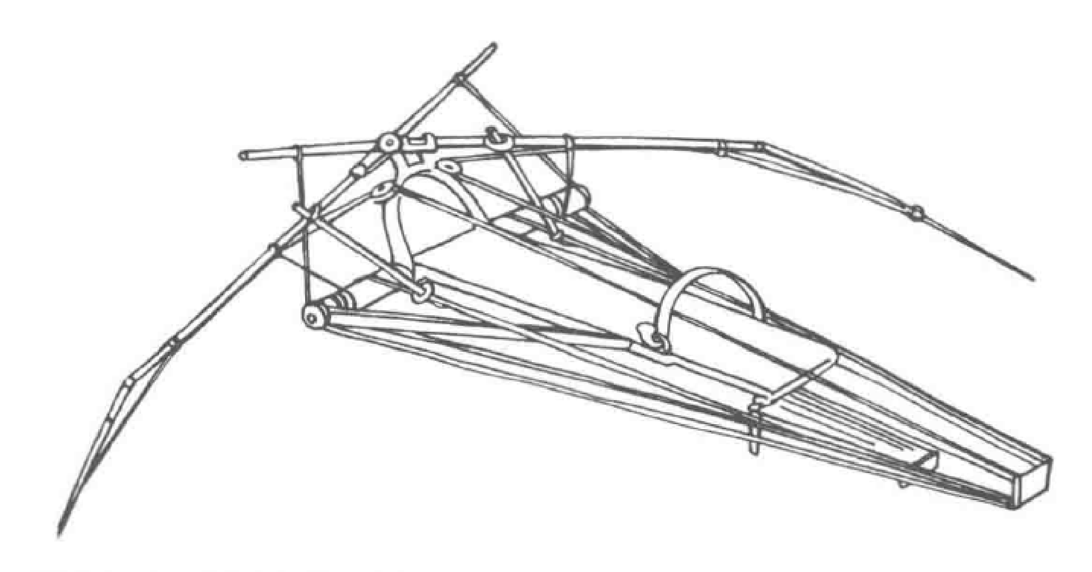


图206 达·芬奇的扑翼机设计图。

到将近300年后才出版的话，他的思想无疑会对后来的事情发展产生巨大的影响。

在航空史前史中，接下来应该提到名字的是胡克(Robert Hooke，1635—1703)，他在17世纪下半叶显然做过几次关于飞行器的实验，遗憾的是详情已经失传。耶稣会会士德·拉纳(Francesco de Lana-Terzi)设计了一种飞船(1670年)，首次提出使用基于阿基米德(Archimedes，公元前250年)定律的“比重小于空气”原理，设想他的飞船应该由4个抽成真空的球提供升力。这个方案很不切实际，却是很重要的，因为它为气球航空器的发明铺平了道路。然而，这一发明看来是由里斯本的另一位耶稣会会士德·古斯芒(Bartholomeu Lourenço de Gusmão)在18世纪初期完成的，他还制造过一架全尺寸的扑翼式飞行机器(但是没有成功)和一架模型滑翔机。

395

据说，德·古斯芒的气球是一个小热气球模型，于1709年8月8日在葡萄牙国王面前进行了成功的演示。然而，无论怎么说，对于73年后里昂附近阿诺奈的法国兄弟约瑟夫·蒙戈尔费埃和艾蒂安·蒙戈尔费埃(Joseph and Étienne Montgolfier)发明载人热气球来说，这件重要的事情好像没有什么启发作用。1782年11月15日，蒙戈尔费埃兄弟用一个模型气球进行了他们的首次实验。



图207 1783年首次升空所用的“蒙戈尔费埃式”热气球。

实用航空产生过程中的一个重要的里程碑式事件发生在第二年。1783年11月21日，人类

的第一次自由飞行被法国人——罗齐埃（J. F. Pilâtre de Rozier）和阿兰德斯（Marquis d'Arlandes）成功实现。他们乘坐一个容积为7.8万立方英尺的“蒙戈尔费埃式”（Montgolfière）热气球，从巴黎布洛涅森林中的“哑堡”（Château de la Muette）花园升空，26分钟后在小让蒂伊（Le Petit-Gentilly）的哥白林挂毯厂（Gobelins）附近着陆，飞行距离为7.5英里，最高达3000英尺左右（图207）。不过在1785年6月15日这一天，罗齐埃也成为死于空难事故的第一人。

紧接在“蒙戈尔费埃式”热气球发明之后的是更为实用的氢气球，这种气球的基本构造至今都没有多大改变。著名的物理学家查理（J. A. C. Charles，1746—1823）在热气球发明之后不久，根据布莱克（Joseph Black，1728—1799）早先的一项建议，提出氢气［由卡文迪什（Henry Cavendish）于1766年首次分离出来并予以描述］应该是一种比热空气更有效的上升动力。最初，人们把氢气球（图208）称为“查理式”（Charlière）气球，它在罗齐埃和阿兰德斯那次历史性升

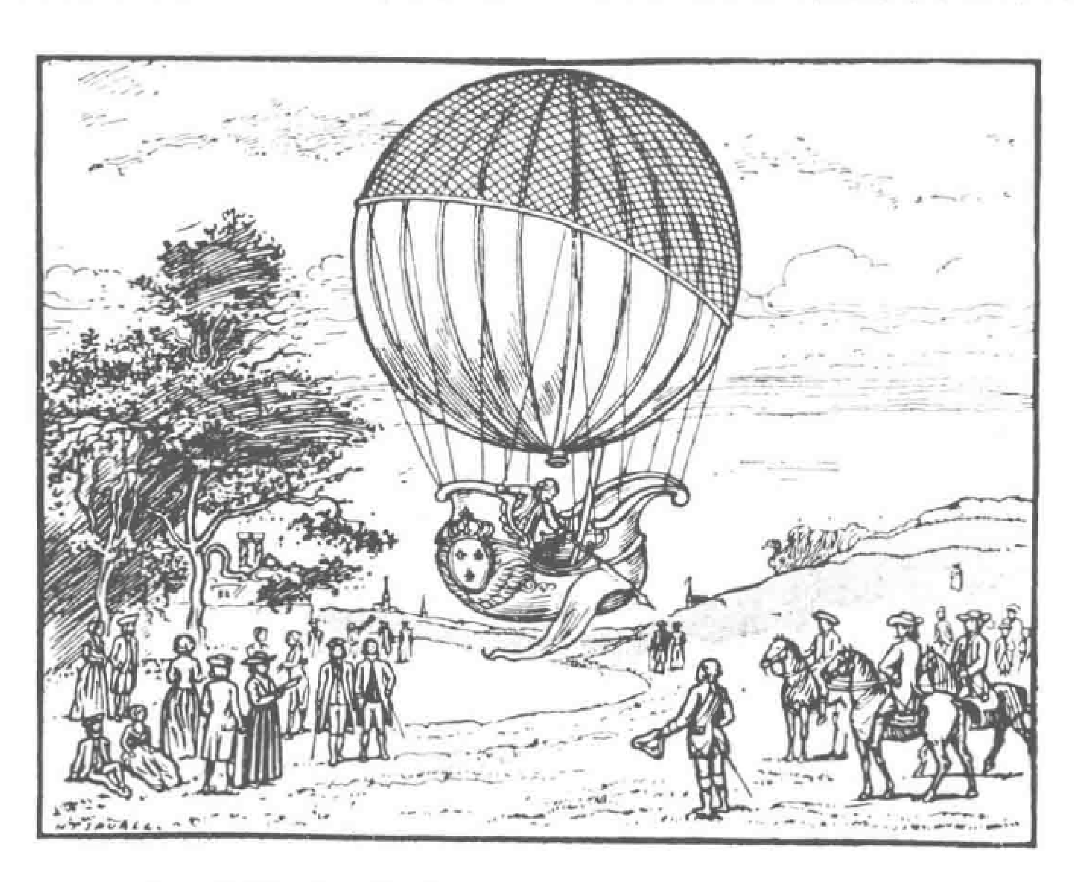


图208 “查理式”氢气球，1783年。

396 空后的第十天，成功地进行了它的第一次载人自由飞行。1783 年 12 月 1 日，查理与制造氢气球的罗贝尔兄弟（the Roberts）中的哥哥一起，从巴黎的杜伊勒利花园（Tuileries Gardens）升空（第Ⅳ卷，边码 255），持续飞行了两个小时后在内勒降落，飞行距离为 27 英里。接下来，查理独自升空继续飞行了一个半小时，其间达到了 9000 英尺的高度。伟大的气球航空时代就此开始，持续了 120 年。在此期间，人们做了许多努力，想把自由气球改进为一种实用的运输工具，但没有取得成功。

第一批气球的成功升空，标志着人类实用航空的开始。然而，这些成功与 20 世纪之间被一个时代所分隔。在 20 世纪，人们发现了用比重大于空气的飞机进行航空的方法，最终使得把这种新手段大规模地用于实际目的成为可能。在那个时代中，实验和进展是时有时无的，而且有时看上去几乎完全停止。用来实现真正的空中航行这个目标的方法，在一个很长时期里一直不能确定。从 1783 年气球首次升空成功，到 1903 年莱特兄弟用一台比重大于空气的机器最终飞行成功，这之间不可能有什么直接的联系，相似之处仅仅在于人们对眼前单个目标的注重、对新元素日益增长的兴趣和关于新元素的知识。气球飞行与比重大于空气的飞行的技术和问题，完全是两回事。

397

17.3 系留气球、风筝、降落伞

在考察自由气球发明后的航空发展时，把实用飞行机器分为“比重小于空气的”和“比重大于空气的”这两种基本类型，是很适宜的。它们还可以进一步作如下划分：

比重小于空气的	比重大于空气的
（1）自由气球	（3）扑翼机
（2）飞艇	（4）直升机

（5）滑翔机

（6）飞机

（7）弹道火箭

除了上面几类飞行器外，还有三种用途有限的专门的航空设备，分别是系留气球、风筝和降落伞。

（a）**系留气球**是作为自由气球向军事领域发展的一种直接产物而出现的，雏形是用一条缆绳系到地面上的普通球形气球。事实上，人类的第一次飞行是用被绳子拴住的热气球实现的。罗齐埃在1783年10月15日的第一次升空中用的就是这种气球，当时他升至84英尺的高度，在空中停留了4分半钟。

1794年6月2日，用缆绳拴住的气球首次在莫伯日（北）用于军事，当时法国军队一支专门组建的连队把一个球形氢气球送上天空，去侦察敌方阵地。在弗勒吕斯战役（1794年）和美因茨包围战（1795年）中，气球也被如此使用。在美国的南北战争中，又一次使用了气球，比较有名的是在费尔奥克斯战役（1862年）中。英国军队在19世纪最后20年的数次战争中，都使用过气球，包括布尔战争。特别是在1899年的莱迪史密斯保卫战中，气球起到了一定的作用。

真正的系留气球是一种瘦长形的充气气球，通常装有尾翼，可以使气球在风中系留时比球形气球稳定，这种类型的气球源于法国人特朗松（Abel Transon，1844年）和佩诺（Alphonse Pénaud，1874年）的建议。第一个实用的系留气球是德国的“龙号”（*Drachen*），它是在1896年出现的（图209）。接下来是法国的“卡科香肠号”（*Saucisse Caquot*）（1916年），它为其后所有这种类型的气球确立了基本样式。在第一次世界大战期间，系留气球被广泛地用于侦

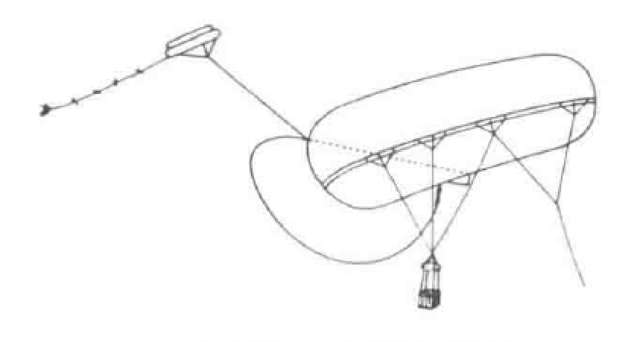


图209　1896年的德国“龙号”系留气球。

 察目的，而且用来构成气球拦阻网，作为对低空飞机的一道防线。后一种应用在第二次世界大战中得到继续，当时还发现系留气球既对实验工作有用，也对训练伞兵部队有用，后一种功能至今仍在有限的规模应用。

（b）**风筝**的起源可以追溯到远古时代。可能早在公元前1000年左右，中国人就有了风筝，这显然是最早的实用航空器。最简单的风筝仅由一个用绳子系到地面上的单翼机升力面构成，可能首先是让人飞着玩的，至今也是如此。不过，也许存在这样一种可能性：中国可能制造和放飞过把人升到天空中的大型风筝。如果真是这样的话，这就是人类最早的用绳子拴住的飞行，比1783年罗齐埃首次乘坐用绳子拴住的气球升空要早许多世纪。风筝在欧洲最早出现的时间尚不清楚，罗马时代可能就已经知道风筝了。可以肯定的是，自15世纪以来，欧洲的天空上一直飘着风筝。

直到1893年，更有效的盒形风筝才由哈格雷夫（L. Hargrave）在澳大利亚发明，这种风筝具有纵列双翼机的升力面（图210）。在欧洲制作载人风筝的著名人物，包括波科克（G. Pocock，1827年）、科德纳（E. J. Cordner，1859年）、西蒙斯（J. Simmons，1876年）、巴登-鲍威尔（B. F. S. Baden-Powell，1894年）和科迪（S. F. Cody，1904年）。

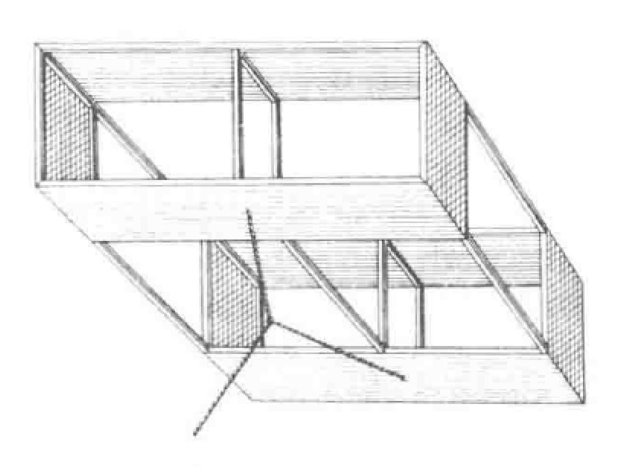


图210　1893年的哈格雷夫盒形风筝，这是在美国和欧洲进行开创性飞行的双翼飞机的雏形。

（c）**降落伞**与风筝一样，看来已为古代中国人所知。但在欧洲，降落伞最早是由达·芬奇在1500年左右提出的。早期关于降落伞的一些图示，出现在维拉齐奥（F. Veranzio）的《新机械》（*Machinae novae*，约1595年）、德马雷茨兄弟（des Maretz）

的《阿里安》(*Ariane*，1639 年）和德拉布勒托内（Restif de la Bretonne）的《一个飞人在南方的发现》(*La Découverte australe par un homme-volant*，1781 年）三本书中。

第一次使用降落伞进行实际试验的可能是中国人。然而，它在欧洲的最早试用看来发生在气球就要发明的 18 世纪，早期的实验家有布朗夏尔（François Blanchard，1777 年）、约瑟夫·蒙戈尔费埃（1779 年）和勒诺尔芒（S. Lenormand，1783 年）。三位法国人当中，勒诺尔芒可能进行了欧洲最早的降落伞降落。1783 年 12 月，他先是从树顶上跳下，后来又从蒙彼利埃观象台的塔顶跳下。

随着气球的出现，人们广泛地进行了现场跳伞表演。1785 年 6 月 3 日，布朗夏尔从伦敦的沃克斯豪尔乘气球升空，并在上升过程中用一顶小降落伞降下了一些重物，后来又降下了一些动物。第一个从气球上降落下来的人是加尔纳里安（A. J. Garnerin），他是 1797 年 10 月 22 日在巴黎上空进行降落的（图版 23A），1802 年又完成了英格兰的第一次跳伞降落。19 世纪中期，气球跳伞成了一种万人争睹的奇观，世界各地都举行了许多跳伞表演。

399

第一个从飞机上跳伞降落的人是贝里（A. Berry，1912 年 3 月 2 日），第一个从飞艇上跳伞降落的人则是梅特兰（E. M. Maitland，1913 年 10 月 18 日）。在第一次世界大战期间，降落伞被交战双方广泛用来作为逃离侦察气球的一种工具，德国人还在战争就要结束的时候将它用于逃离飞机。这些降落伞与早期试验中使用的一样，或者展开来悬挂在气球上，或者折叠起来装在和飞机固连的柜子里。在后一种情况中，使用者利用跳出飞机后的下落把降落伞从柜子里拉出来。20 世纪 20 年代初期，第一种自由下落的打包式降落伞被采用，使用者把它穿戴在身上并进行操纵。第一次世界大战以后，作为从军用飞机或试验飞机上脱离的一种设备，这种类型的降落伞被普遍使用。更近的年月里，在空降部队或空投物资时，人们用一根连在飞机上的强

制开伞拉绳来操纵这种打包式降落伞。

17.4 19世纪的自由气球

从18世纪末期气球的发明开始，到19世纪最后20年对飞艇和滑翔机进行最早的实飞试验为止，气球是人类能够用来探测天空的唯一工具。直到20世纪头20年，飞艇和飞机开始大量在空中飞行的时候，气球仍然是使用最广泛的一种航空器。出于这个原因，虽然在改进气球设计推进气球成为交通工具方面几乎没有什么进展，但在人类研究与穿越大气飞行相关的许多新问题去征服天空的进程中，气球起到了极其重要的作用。

气球飞行者学习在进行远距离径直飞行时如何确认自己的航线，如何在夜晚航行，如何穿越云海航行，如何避开地面上的障碍以选择最佳类型的着陆地点。他们首次跨越了几个深海大洋，并进行了跨越某些海洋的尝试，还从空中探测了世界上各种各样无法接近的地区。应该提到的著名飞行有：布朗夏尔与杰弗里斯（J. Jeffries）在1785年1月7日首次跨越了英吉利海峡；赞贝卡里伯爵（Count F. Zambeccari）与两个同伴在1804年10月7日进行了横跨亚得里亚海的尝试；阿尔班（F. Arban）在1849年9月2日至3日首次飞越阿尔卑斯山，还在1859年、1861年、1873年进行了飞越大西洋的尝试；安德烈（S. A. Andrée）和两个同伴在1897年7月11日至14日进行了具有悲剧性的北极探险飞行。气球还用于研究大气层的特性以及其他的气象学问题，用于到达高大气层［以格莱舍（J. Glaisher）与考克斯韦尔（H. J. Coxwell）在1862年9月5日升到2万—2.5万英尺高空最为有名］，用于进行航空摄影［首次空中摄影是于1858年由图尔纳雄（F. Tournachon）在巴黎上空进行的］，用于首次进行运送旅客和邮件的航空运输服务（在1870—1871年巴黎被包围期间）。

尽管气球在这一时期被用于以上这些目的和其他严肃用途，但它

主要还是作为一种为表演者所用的道具。显然，它最为普遍的应用是在集市和庆典上去赢得人们的赞赏。在晚上，随着气球的上升，不仅有在空中怒放的烟花，还有空中杂技表演、空中芭蕾舞表演和“骑马升空”，跳伞降落则是职业气球师们常备常演的拿手好戏。在当时，职业气球驾驶员成了经验丰富的飞行家。这些男人和女人——如布朗夏尔和他的妻子、戈达尔兄弟（the Godards）、格林（Charles Green，是他首先用煤气代替氢气来充气球的）、考克斯韦尔、怀斯（John Wise）以及斯潘塞家族（the Spencers），进行了数千次气球升空，累积了几百小时的空中飞行经验。在世纪之交，搭乘气球飞行成了有钱人的一项时髦运动，这些新的业余气球迷学到了职业航空实践家在100多年间传递下来并予以扩充的技术。后来，当飞机作为一种适宜的实用机械充分发展成为一项新型运动的工具时，许多业余气球迷开始迷恋飞机。于是，通过气球而积累下来的空中经验，就传到了飞机时代。

17.5 飞艇时代

尽管气球在发明后的100年里一直是唯一有用的航空器，但它作为一种运输工具的局限性过于明显，以致人们不断地试图把它发展成一种比重小于空气的飞行器，可以在驾驶员的控制下，不受风的影响而朝任何方向航行。

气球发明后不久，人们就进行了首次气球航行试验。许多用圆球形气球升空的试验者尝试安装了各种桨叶，包括螺旋桨。与这些无效尝试并存的是，许多开创者意识到一种细长的外形是任何实用的可操纵气球的关键所在。1784年7月15日，查理与罗贝尔兄弟（边码396）进行了首次慎重的尝试，不过没有成功。当时，他们试验了一种细长形的氢气球，主气囊内含有一种充入空气的气室。气

室是一项重要的发明，后来成为所有软式飞艇[1]的一个特征。它的作用在于保持主气囊的形状，不管大气压和充气压有什么变化。同年晚些时候，第二个类似的气球由罗贝尔兄弟制成并投入试验，结果又没有成功。

显然，如何提供一种足够轻巧而又强有力的推进工具，这是需要解决的主要问题。用人力显然是不适宜的，这一点在接下来的70年中得到了反复的证明[2]。第一艘成功的模型飞艇看来是由梅森（T. Monck Mason）制作的，1843年在伦敦的皇家阿德莱德陈列馆（Royal Adelaide Gallery）进行了飞行，时速为6英里。另一艘成功的以蒸汽为动力的模型飞艇由勒贝里耶（Le Berrier）设计，1844年6月9日在巴黎进行了飞行。

第一艘成功载人飞行的飞艇（虽然时速只有5英里左右）设计者是吉法尔（H. Giffard）。1852年9月24日，他驾驶着由一台驱动着一种三叶螺旋桨的3马力蒸汽机提供动力的飞艇，在巴黎附近飞行了17英里的距离（图211），成功地达到了舵效航速。但是，吉法尔的飞艇还是没有具备作为一种实用交通工具所必需的所有性能。第一艘实用的飞艇是“法兰西号”（*Le France*），由勒纳尔（C. Renard）和克雷布（A. C. Krebs）设计和制造，由一台用特别轻的电池供电的9马力电动机驱动。1884年8月9日，它成功地在巴黎附近的沙莱－默东做了一次约5英里的圆周飞行，时速为14英里。

从1900年前后起，飞艇在各个国家大量出现。1898—1906

1　在软式飞艇中，其外形由所含气体的压力来保持。

2　这一时期的著名设计是由以下这些人完成的：默尼耶（J. B. M. Meusnier，1785年）、保利（S. J. Pauly，1789年）、斯科特（Baron Scott，1789年）、利皮希（Lippich，1812年）、凯利（Sir George Cayley，1816年）、保利与埃格（S. J. Pauly and D. Egg，1816年）、热纳（E. C. Gênet，1825年）、伦诺克斯（Count Lennox，1834年）、费朗（P. Ferrand，1835年）、帕特里奇（J. S. Partridge，1843年）、波特（R. Porter，1845年）、朱利安（P. Jullien，1850年、1852年）、贝尔（H. Bell，1850年）、伦特利（J. Luntley，1851年）、梅勒（P. Meller，1851年）、奈（J. Nye，1852年）、瓦内斯（H. Vanaisse，1863年）、德拉马纳与约恩（E. Delamarne and G. Yon，1865年）、博伊曼（R. Boyman，1866年）、马里奥特（F. Marriott，1869年）、德·洛姆（S. C. H. L. Dupuy de l'Orme，1872年）、亨莱因（P. Haenlein，1872年）、鲍姆加滕与韦尔弗特（Baumgarten and Wölfert，1880年）和蒂桑迪耶兄弟（A. and G. Tissandier，1883年）。

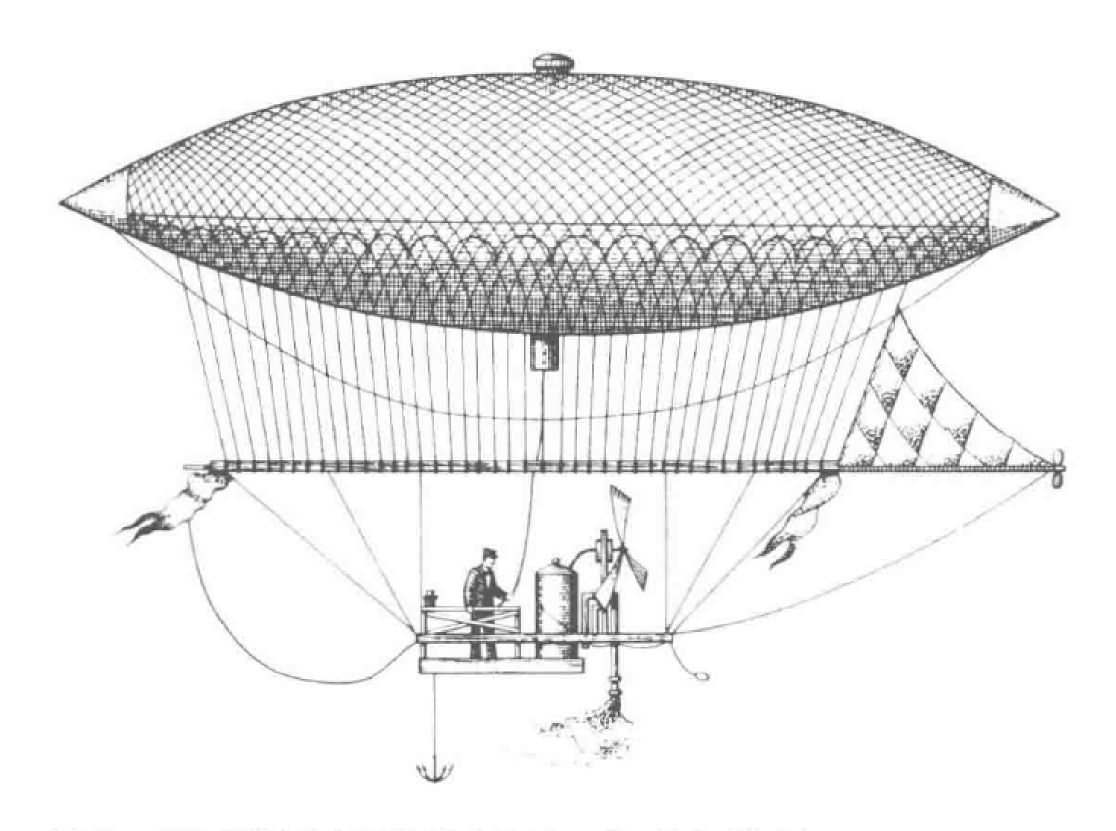


图 211 1852 年的吉法尔用蒸汽推进的飞艇；第一艘成功的飞艇。

年，桑托斯－杜蒙（边码 392）在巴黎制造和试飞了一系列小型软式飞艇。同时，更大的软式飞艇也问世了，其中以法国的“勒博迪号”(*Lebaudy*）飞艇最为著名。1903 年 11 月 12 日，它进行了人类历史上第一次预先计划好的、受控制的直线飞行，地点是从穆瓦桑（Moisant）到巴黎，距离为 38.5 英里。其后 50 年间，软式飞艇得到了很大的改进，在第一次世界大战中被协约国军队广泛用于海岸巡逻。

德国人是硬式飞艇的开路先锋，这种飞艇不同于软式飞艇，它有一个圆筒式或流线型的外壳，外壳内藏着大量被相互隔开的气囊，撑张着发动机舱和客舱。第一艘硬式飞艇由施瓦茨（D. Schwarz）制造，1897 年 11 月 3 日进行了飞行，不过没有成功。与软式飞艇相比，硬式飞艇通常要大得多。对这种飞艇作出巨大贡献的是冯·齐柏林伯爵（Count F. von Zeppelin，1838—1917），他在 1900 年 7 月 2 日把他的第一艘飞艇从康斯坦茨湖畔送上天空（图

403

212）。1900—1914年，齐柏林飞艇在德国用于运营客运业务，并取得了一些成功。第一次世界大战期间，这种飞艇被广泛用于军事目的。此后，仍然有少数齐柏林飞艇以及同样类型的外国飞艇继续用于军事目的和民用运输，但到1940年，这类飞艇便消亡了。1918年以后，小型软式飞艇只得到了非常有限的应用，但到今天仍有少量幸存。

17.6 扑翼机

扑翼式飞机是探索比重大于空气的飞行方式的先驱们最早的设想。看上去，实现人工飞行最容易的方式是模仿鸟的飞行。经过好几代实验家的努力，人们终于确立了这样的认识，模仿鸟的飞行实际上是最困难的途径。有实效的载人扑翼机仍然有待开发，不过大量的模型扑翼机已经在空中做过飞行[1]。

近年来，高速摄影技术、关于空气动力学的现代知识，以及对大气层结构和行为的一种更为清晰的概念，使人们有可能对鸟的飞翔达到一种更为透彻的理解（图版44A）。人们现在已经清楚，大多数鸟的翅膀就好像固定的升力面，提供了绝大多数的升力，即使在做扑翼飞行的时候也是这样，推进力则是由翅膀外侧部分的扑翼动作产生的。

1 第一架模型扑翼机可能是用火药驱动的，它是由法国人特鲁韦（G. Trouvé）于1870年制造的。在这段时间前后，循着达·芬奇关于扑翼机的最初提议（边码394），出现了许多关于扑翼式飞机的设计。这些有关的设计是由以下这些人完成的：德·古斯芒（1709年）、斯韦登堡（E. Swedenborg，1714年）、德福尔热（Abbé Desforges，1772年）、梅尔魏因（C. F. Meerwein，1781年）、布朗夏尔（1781年）、勒诺（A. J. Renaux，1784年）、热拉尔（L. G. Gérard，1784年）、古埃（R. de Goué，1788年）、沃克（T. Walker，1810年）、朗贝蒂尔（Count A. de Lambertyre，1818年）、阿廷斯托（F. D. Artingstall，1830年）、米勒（W. Miller，1843年）、迪谢奈（Duchesnay，1845年）、冯·德赖堡（F. von Dreiburg，1845年）、塞甘（M. Seguin，1846年、1864年）、布雷昂（Bréant，1854年）、斯迈西斯（Smythies，1860年）、埃斯泰尔诺（Count F. d' Esterno，1864年）、斯特鲁韦与特勒舍夫（Struvé and Telescheff，1864年）、考夫曼（J. M. Kaufmann，1868年）、昆比（W. F. Quimby，1869年）、基思（A. P. Keith，1870年）、普里让（Prigent，1871年）、若贝尔（Jobert，1871年）、维尔纳夫（H. de Villeneuve，1872年）、兰博利（F. X. Lamboley，1876年）、卢夫里耶（C. de Louvrié，1877年）、默雷尔（M. H. Murrell，1877年）、布里尔里（F. W. Breary，1879年）、惠勒（I. M. Wheeler，1887年）和弗罗斯特（E. P. Frost，1890年、1902年）。这些设计中的绝大多数之所以引人瞩目，只是因为它们都是无法实行的；它们仅起到了这样的作用：分散严肃的理论家的注意力，使他们不能专注于处理飞行问题中更为简单且更有希望的固定翼方式。

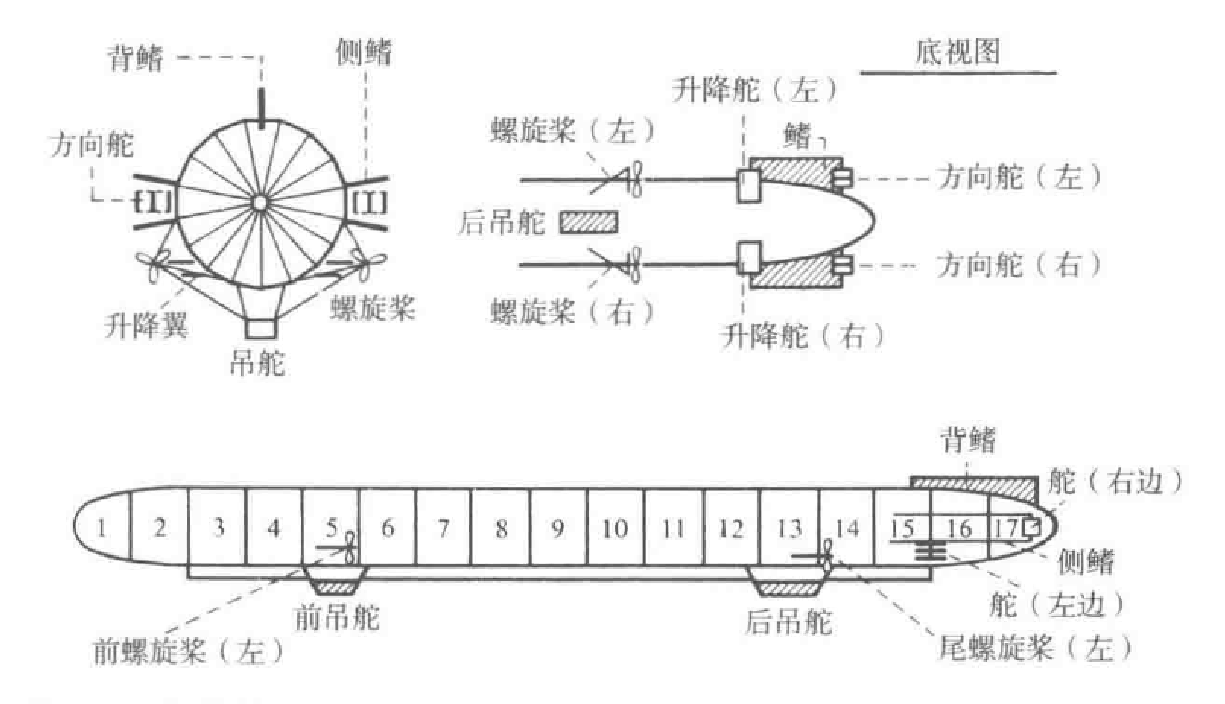


图 212　齐柏林硬式飞艇的最早实际形式，1900 年。

然而，真正的扑翼飞行只是某些鸟和昆虫在做盘旋或低速飞行时才使用的，远非常见。有关的空气动力学是复杂的，它还没完全被人们弄清楚。

虽然载人扑翼机看来可能最终会被成功地制造出来，但这种类型的飞行器绝不可能作为实用航空器向其他类型的飞行器提出挑战。对鸟来说，由于任一动物器官都先天性地不可能做完全的旋转运动，扑动翅膀提供了最好的解决方法。固定翼加上螺旋桨推进器或喷气发动机或火箭推力的做法，在力学上更为有效，因此更适用于机械。

404

人力飞行的问题至今也没有得到解决。几乎毫无疑问的是，在这么多年来推出的人力扑翼机或人力固定翼机中，没有一架能解决这个问题。现代空气动力学的知识指出，一个人靠他的肌肉或许正好能够产生足够的力量来维持一架人力航空器做水平飞行，却几乎没有额外的力量来用于起飞和爬升。

17.7 直升机

就像扑翼机那样，直升机[1]比简单得多的固定翼飞机更令早期的理论家和实验家感兴趣，不过，第一架能够离地升空的载人直升机直到1907年才出现，这是科尔尼（Paul Cornu）的功劳。第二架这样的直升机是布雷盖（Breguet）兄弟（他们也是固定翼飞机的开创者）和里歇（Charles Richet）设计的“布雷盖－里歇1号”。科尔尼直升机有两个相逆旋转的旋翼，“布雷盖－里歇”直升机则有4架，它们都是用汽油发动机驱动的。虽然两架直升机都从地面升了起来，但它们从任何意义上说都不是实用的航空器。第一架成功的直升机是法国的“布雷盖－多朗314号”（*Breguet-Dorand 314*），它具有两个叠置的一模一样的相逆旋转的旋翼。1935年7月，它进行了第一次飞行，沿着一个封闭的圆圈飞行了540码，高度约为100英尺，速度达到了每小时62英里。紧随其后的是德国的“福克－阿格利斯Fa61号”（*Focke-Achgelis Fa 61*），它有两个并列的一模一样的旋翼，1936年6月26日进行了首次飞行，它的性能很快就令法国人的直升机黯然失色。一架在设计上与此相似的英国直升机——“韦尔W5号”（*Weir W5*），1938

1 达·芬奇是欧洲第一个阐述直升机原理的人。然而，中国人可能在很早以前就用他们的“飞车”（flying top）演示了这个原理。在达·芬奇之后，著名的直升机设计者有：波克通（A. J. P. Paucton，1768年）、洛努瓦与比安弗尼（Launoy and Bienvenu，他们于1784年在巴黎首次成功地进行了模型直升机的飞行）、凯利（1796年、1843年及1854年）、朗贝蒂尔（1818年）、萨尔蒂（V. Sarti，1828年）、梅耶（D. Mayer，约1828年）、W. H. 菲利普斯（W. H. Phillips，他于1842年试飞了一架模型机，这架模型机具有一种由桨尖驱动的旋翼，以蒸汽为工作媒介）、博尔内（Bourne，1843年）、塞甘（1846年）、奥邦（Auband，1851年）、布赖特（H. Bright，1859年）、阿梅古（Viscount G. de P. D' Amecourt，1861年）、克罗韦尔（L. C. Crowell，1862年）、朗代勒（G. de la Landelle，1863年）、伍顿（J. Wootton，1866年）、史密斯（W. Smyth，1867年）、佩诺（1870年）、波梅斯与德拉波泽（Pomès and de la Pauze，1871年）、沃德（J. B. Ward，1876年）、迪厄艾德（E. Dieuaide，1877年）、梅利科夫（Melikoff，1877年）、克雷斯（W. Kress，1877年）、福拉尼尼（E. Forlanini，1878年）、卡斯特尔（P. Castel，1878年）、当德里厄（Dandrieux，1879年）、韦尔纳、金博尔与特鲁韦（Wellner，W. R. Kimball，G. Trouvé，1887年）、勒纳尔（Renard，1904年）、E. 伯利纳与威廉（E. Berliner and J. N. Williams，1905年）、西科尔斯基（I. Sikorsky，1909年、1910年）、帕潘与罗米伊（Papin and Romilly，1915年）、冯·卡门与彼得罗斯基（T. von Karman and Petroscezy，1916年）、佩斯卡拉（P. de Pescara，1920年）、奥米琴（E. E. Oemichen，1920年）、博特扎（G. de Bothezat，1923年）、H. 伯利纳（H. Berliner，1924年）、布伦南（L. Brennan，1925年）、鲍姆豪尔（von Baumhauer，1925年）、伊萨科（V. Isaaco，1927年、1930年）、奥什博特（O. von Asboth，1928年）、阿斯卡尼奥（C. D' Ascanio，1930年）和弗洛莱因（N. Florine，1930年）。

年6月6日在格拉斯哥附近进行了首次飞行。第一种被广泛使用的直升机是“西科尔斯基VS 300号”(*Sikorsky VS 300*)，1939年9月14日由它的设计者驾驶在康涅狄格州的斯特拉特福首次升空，它具有一个单独的主旋翼和一个没有平衡扭矩的小尾桨。

在“布雷盖－多朗”直升机出现的13年前，1923年1月9日，西班牙人切尔瓦(J. de la Cierva)试飞了一种作为过渡形式的旋转翼航空器，即旋翼机。旋翼机并不是一种真正的直升机，因为它采用了一种自转旋翼，但它发展成了一种完全实用的航空器，并在20世纪30年代被人们普遍使用，直到被真正的直升机取代为止。历史上，人们一共制造了大约500架旋翼机。

到20世纪中叶，直升机已经被认为是重要性仅次于普通飞机的航空器。它的未来发展之一将是与固定翼飞行原理相结合，形成推力换向式飞机，这最早是由凯利爵士(Sir George Cayley，1773—1857)于1843年提出的。1955年4月29日，这种先是以直升机形式上升然后转为固定翼飞行的飞行方式，首先由这种类型的航空器“麦克唐奈XV-1号”(*McDonnell XV-1*)实现。

17.8 固定翼飞行的肇始：在天空滑翔的开创者们

1850—1900年的发展必然导致固定翼飞机被人们接受，这是对人类长期以来寻找一种有效航空器的回报。但正如上面所表明的那样，早期的开创者们在固定翼飞行的可能性上认识迟缓，几乎自始至终地被其他更为复杂的解决方案吸引。只有极少数人，例如胡克(1655年)、德·古斯芒(1709年)和阿里埃斯(Ariès，1784年)，似乎在朝着固定翼的方向上有所思考。直到“航空之父”凯利澄清了有关问题，并在1799年指出了用滑翔机飞行的可能性(见章末补白图)，实验家们才终于走上了通向最后成功的道路。

凯利不仅提出了建议，而且走得更远。1804年，他制作了一

架模型滑翔机，具有一个类似风筝的单翼机机翼和一个十字形的尾翼。这架模型机从一座陡山的山顶出发，成功地进行了飞行，这是凯利在许多年间用来进行实验的一系列模型机中的第一架。接下来，是带来成果的实用机试飞，那是在凯利生命行将结束的1852年至1853年，看来当时至少有一架全尺寸的载人滑翔机进行了短距离的飞行，一次载了一名男子，另一次载了一名男孩。遗憾的是，凯利的全尺寸滑翔机实验没有留下完整的记录，而且直到1891年，他的建议才终于在李林达尔（Otto Lilienthal，1848—1896）的第一次成功滑翔中结成果实。在此之前，人们也制作了许多滑翔机并进行了多次飞行，然而它们飞起来的样子过于歪歪斜斜，给不出任何证据表明在获得全尺寸滑翔机的稳定性和操纵性方面有什么进展。然而，稳定性和操纵性却是滑翔机在能够作为一种实用机出现之前，一直需要解决的两个最重要问题。这些早期的实验是由勒布里斯（J. M. Le Bris，1856年、1868年）、穆亚尔（L. P. Mouillard，1856年、1865年及1896年）、斯潘塞（C. G. Spencer，1868年）、豪斯霍尔德（J. G. Household，1871年、1875年）和毕奥（Biot，1879年）进行的。

德国人李林达尔和他的英国徒弟皮尔彻（P. S. Pilcher）是进行空中实飞试验的伟大倡导者。应用凯利在19世纪初阐述的原理，李林达尔制造了一系列全尺寸的“悬挂式滑翔机”（hanging glider，图213），用以自学飞行。在1896年死于一次飞行事故之前，他用它们进行了一千多次滑翔飞行。皮尔彻继承了李林达尔的事业，他的首次成

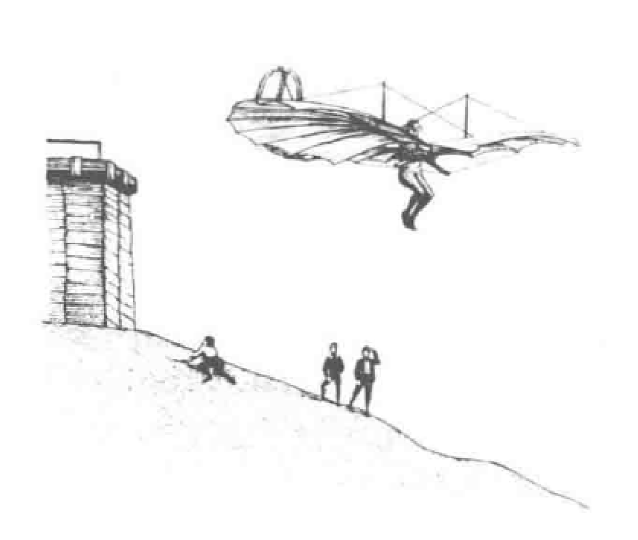


图213　李林达尔的“悬挂式滑翔机”之一，在19世纪90年代被用来进行了多次滑翔飞行。

功滑翔是1895年9月12日在克莱德河畔的卡德罗斯进行的。1899年，他同样在一次滑翔事故中失去了生命。在不幸身亡前的一段时间内，李林达尔和皮尔彻都在致力于为他们的滑翔机装配动力装置。因此，如果他们活着的话，或许会在莱特兄弟之前成功地进行动力飞行，这种情况不是不可能的。特别是皮尔彻，已经成功地进行了拖曳飞行，在离世前的一段时间内，他对哈格雷夫关于盒形风筝的思想也产生了兴趣，因此成功的可能性更大。就在几年之内，盒形风筝必然成为欧洲双翼机得以成功发展的基础，从而建立起航空器设计在此后30年中的基本模式。

李林达尔和皮尔彻的事业由其他许多亲自滑翔的开创者们所继承，包括夏尼特（Octave Chanute）、苏亚雷斯（P. Suarez）、费伯（F. Ferber）、魏斯（J. B. Weiss）、蒙哥马利（J. J. Montgomery）和莱特兄弟。在19世纪的大部分时间中，发展航空事业的主动权集中在欧洲，现在转到美国了。夏尼特以自己的滑翔实验积极鼓励，对莱特兄弟着手进行他们将结出丰硕果实的工作起到了重要的作用。他向他们传授了自己从哈格雷夫的盒形风筝上发展起来的桁架式双翼机结构，还把关于莱特兄弟工作的信息带到了欧洲，从而为航空技术的进步作出了贡献。

毫无疑问，欧洲的情况也一样。当莱特兄弟已经获得成功却尚未被大西洋对岸获知的时候，哈格雷夫的盒形风筝必然为后来意义深远的发展打下了基础，这种发展首先在滑翔机的设计中得到了表现。1905年，世界上最早的专业飞机制造商瓦赞兄弟推出两架基于盒形风筝的双翼滑翔机，一架为阿奇迪肯（E. Archdeacon）制造，另一架为布莱里奥制造。1905年夏天，这两架滑翔机被安放在木筏上，在一艘摩托艇的牵引下在塞纳河上进行了飞行。进一步的滑翔试飞则是在1906年进行的。后来，瓦赞滑翔机发展成一系列动力飞机，它们就是后来成功的推进式和牵引式双翼机的前身。

莱特兄弟在尝试动力飞行之前，已经理解到进行滑翔实验的重要性，这可能是他们获得最终成功的最重要原因。事实上，在欧洲取得上述进展的5年前，他们已经进行了一项综合性的实飞试验项目。他们充分认识到，在走向更为困难的动力飞机事业之前，制造出一架成功的滑翔机并学会驾驶它飞行，是绝对必要的。就这个极其重要的方面而言，莱特兄弟在李林达尔和皮尔彻之后举起了曾由后者成功执掌的火炬。在1900年、1901年和1902年，莱特兄弟制造了三架滑翔机，他们用这些滑翔机循序渐进地研究并自行解决了控制滑翔飞行的问题。到1903年，他们做好了进行最后步骤的准备，并装上了一台发动机。至此，滑翔机已经在飞机发展史上尽了它的本分，不过仍然以其自身价值一直存在到了今天。人们发明了用于体育运动和用于科学研究的滑翔机，以及现代的轻型滑翔机，在第二次世界大战期间，滑翔机还曾经短时间地用于军事运输。第一个成功地用滑翔机进行持续翱翔的人是奥维尔·莱特。1911年10月24日，他在基蒂霍克飞了9分45秒。

17.9 动力飞机的演变

在开始叙述关于莱特兄弟最后成功的故事之前，细察一下空气动力学的起源，简短地描述一下各种各样关于固定翼动力飞机设计的早期实验，显然不无益处。凯利在18世纪末期对这个问题的清晰定义，以及他对解决这个问题所需要的基本步骤的预测，指导并激励着有关的实际工作。凯利之后的空气动力学理论，一直到20世纪都未取得任何重大的进步。人们通过实用的试错法学习飞行，并根据极少数记录下来的实验数据进行补充。当空气动力学确实作为一门科学而演化的时候，它的基础是流体动力学的理论，流体动力学则是17—18世纪由牛顿(Newton)、伯努利(Bernoulli)和欧拉(Euler)等人逐渐建立起来的。空气动力学领域中，同样伟大的巨人是兰彻斯特(F. M.

Lanchester，1868—1946），他在1907年和1908年发表了他的工作成果，只不过那是动力飞行取得成功之后的事情。后来，他的理论得到普朗特（L. Prandtl）的扩展和阐明。

萨默塞特郡的查德的两位网眼织物制造商亨森（W. S. Henson）和斯特林费洛（J. Stringfellow），最早按照凯利阐述的规律行事。1842年，亨森拟定了关于一种大型运输飞机的设计说明书，并取得了它的专利。这一极具远见的设计是为一架“空中蒸汽客车”（Aerial Steam Carriage）做出的，它是一架具有150英尺大翼展的单翼机，两个螺旋桨由一台蒸汽机驱动（图214）。它有一个尾翼用来提供稳定性和操纵性，还有一个三轮起落架用于起飞和着陆。“空中运输公司”（Aerial Transit Company）组建了起来并成为世界上最早的航空公司，目的是制造和经营这种飞机。然而，整个方案最终化为乌有。不过5年以后，亨森和斯特林费洛确实制成了一架基于同一设计的模型机，翼展达20英尺，由蒸汽机驱动。在1847年进行的试飞中，这架模型机被证明不能做持续飞行。后来，亨森移居美国，斯特林费洛便一个人继续进行试验。1848年，他制成了一架较小的但类似的模型机。同年6月，在查德一个废弃的网眼织物厂里，这架模型机脱离一根作为引导的金属线起飞，做了短距离的飞

408

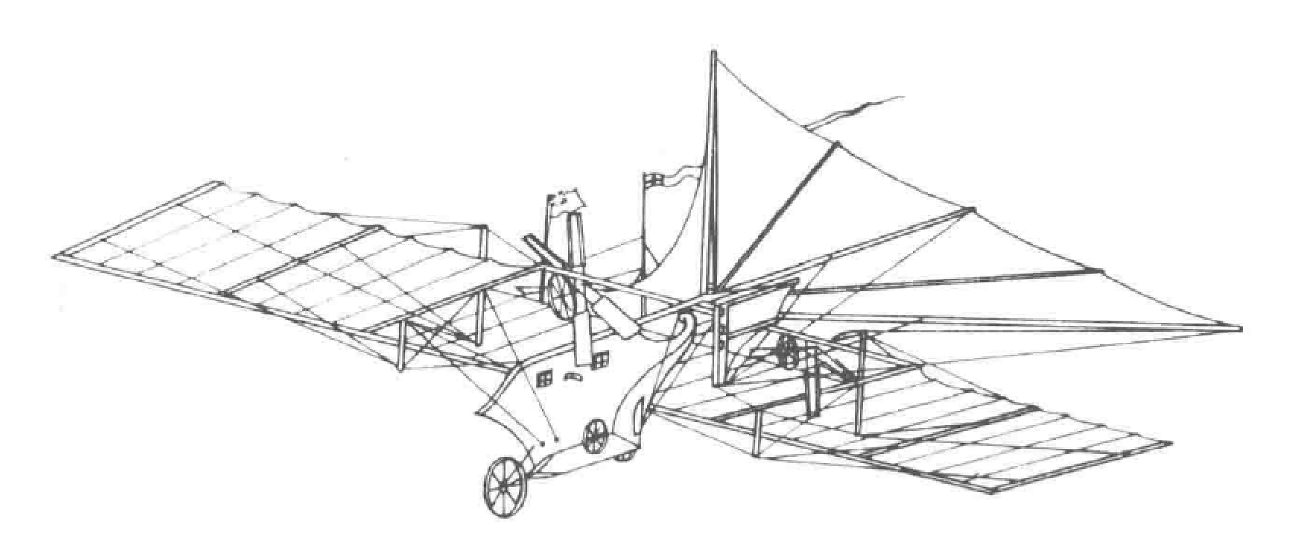


图214　亨森的“空中蒸汽客车”，1842年。

行。这次飞行被宣称为第一次由一架动力固定翼模型飞机进行的持续飞行，尽管证据多少有点不能让人信服。此后，斯特林费洛将他的试验搁置了近18年。1868年，他制成了一架由蒸汽驱动的三翼模型机，并将它在水晶宫举行的第一届航空博览会上展出。这个模型机没有做过飞行。

第一架从地面起飞并成功地进行了动力飞行的模型飞机，是1857年由两位法国人费利克斯·坦普尔·德拉克鲁克（Félix du Temple de la Croix）和路易·坦普尔·德拉克鲁克（Louis du Temple de la Croix）设计并制造的。这是一架小型拉进式单翼机，最初的模型是用发条装置驱动，后来则用一台蒸汽机驱动。14年后，另一位法国人佩诺制造了另一种成功的模型机，它由扭转的橡筋驱动，成功地飞行了约60码之远，是后来航空模型家们各种技术创造的祖先。在这个时期，另一个成功的模型机是1879年由塔坦（V. Tatin）制造的，由一台压缩空气发动机驱动。19世纪80年代，若干种用橡筋、发条装置或压缩空气驱动的成功的模型机由哈格雷夫在澳大利亚制成。这一时期，兰利（S. P. Langley）也在美国开始了由橡筋驱动的模型机的研制工作，克雷斯（W. Kress）则在欧洲开始着手同样的工作。在接下来的10年里，兰利继续着他的实验并制成了一系列模型机，不过这时已经用蒸汽驱动。到1896年，他的翼展为16英尺的纵列单翼模型机"航空站5号"（*Aerodrome 5*）成功地做了一次3/4英里的飞行。1901年，一架更大型的模型机在一台小型汽油发动机的驱动下，进行了极为成功的飞行。接下来，兰利致力于制造一架用一台53马力汽油发动机驱动的具有类似结构的全尺寸纵列单翼机。1903年下半年，这架飞机进行了两次试飞，但都起飞失败。

409

1867年的一个模型机方案具有特别的预言性意义。这是一种由巴特勒（Butler）和爱德华兹（Edwards）给出的箭头形设计，飞机计划

用一台蒸汽喷气发动机推进。早在4年前，一项与此十分相似的建议已经由法国人卢夫里耶(C. de Louvrié)提出。

19世纪后半叶，全尺寸飞机的设计被提了出来，并在某些情况下主要由这些人进行了制造：卢普(M. Loup，1853年)、卡林福德子爵(Viscount Carlingford，1856年)、德拉克鲁瓦(1857年)、卢夫里耶(1863年)、佩诺(1873年)、莫伊(T. Moy，1875年)、莫扎依斯基(A. Mozhaisky，1882年)、塔坦与里歇(1890年)、阿代尔(C. Ader，1889年、1890年及1890年)、菲利普斯(H. F. Phillips，1893年)和海勒姆·马克沁爵士(Sir Hiram Maxim，1894年)。

进入20世纪后，用由动力驱动的飞机进行试验的重要实验家有：克雷斯(1901年)、费伯(1903年、1905年及1909年)、勒瓦瓦瑟尔(L. Levavasseur，1903年)、埃勒哈默(J. C. H. Ellehammer，1904年)、布莱里奥(1906年)、维亚(T. Vuia，1906年)、瓦赞兄弟(G. and C. Voisin，1907年)、埃斯诺－佩尔特里(1907年)、德皮朔夫(1907年)、科迪(1907年)、邓恩(J. W. Dunne，1907年)。此外，贝尔(Alexander Graham Bell)、柯蒂斯(G. H. Curtiss)、塞尔弗里奇(T. E. Selfridge)、鲍德温(F. W. Baldwin)和麦克迪(J. A. D. MacCurdy)于1907年在加拿大创立航空实验协会(Aerial Experiment Association)。1910

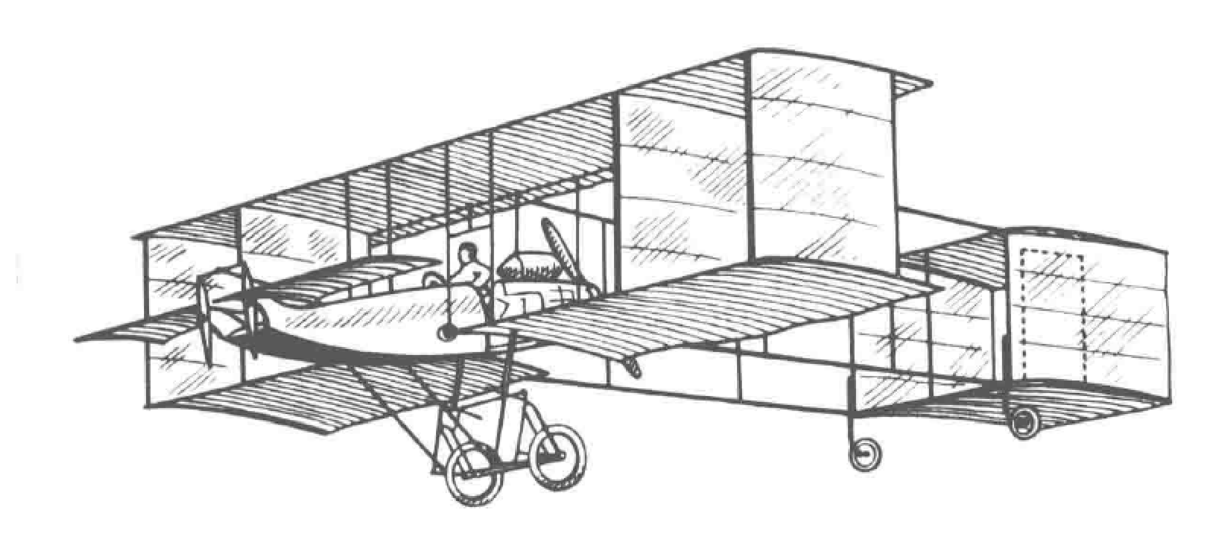


图215　1908年的瓦赞式飞机：此后30年间成功的双翼机设计的原型。

年3月28日，法布雷(H. Fabre)首次让一架水上飞机从水上起飞，并做了成功的飞行。

410 在这些开创者当中，最为杰出的是瓦赞兄弟和布莱里奥。瓦赞兄弟开发了盒形风筝式双翼机(图215)，这种飞机具有相互分离的主机翼构架和水平尾翼构架，设计直接源于哈格雷夫的盒形风筝。布莱里奥则为牵引式单翼机(图216)的产生立下了功劳。

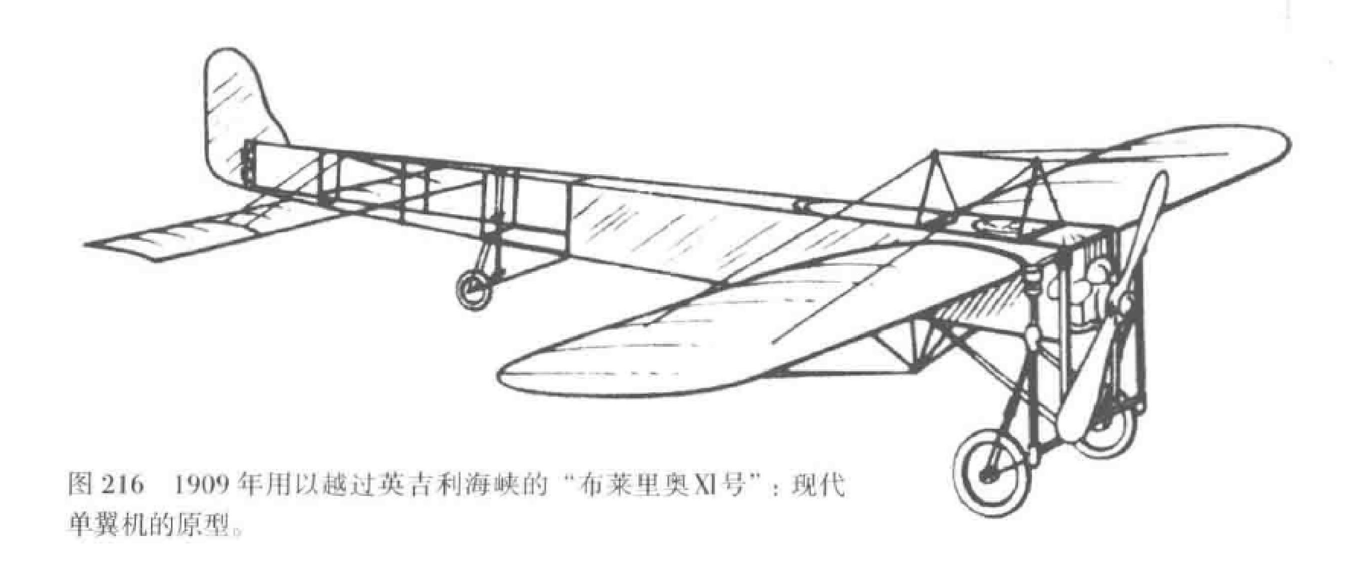


图216　1909年用以越过英吉利海峡的"布莱里奥XI号"：现代单翼机的原型。

时间证明，盒形风筝式双翼机具有比无尾翼的莱特双翼机更能令人满意的构造，它后来演化为牵引式双翼机，成为此后近30年间飞机的最佳类型。布莱里奥的单翼机更具有远见性，一旦在结构设计和制造方法上，以及在空气动力学方面有了足够大的进展，单翼机便立即跃居首位。

在经过长时期的考验后，虽然这两种杰出的欧洲设计被证明具有极其重大的意义，但都不能贬低莱特兄弟的非凡成就。莱特的双翼机是历史上第一架成功飞行的飞机，而且在近三年的时间里保持着"唯一飞行过的设计成果"这一值得骄傲的称号。此后的两年多的时间里，它还一直是使用着的飞机中最为有效的机型。为了强调莱特兄弟的这一成就，在本节的结束部分中，细察他们在制造第一架实用飞机中所解决的问题，也许是有益的。

一种成功飞机的基本要素，以及提供这些要素的人物和时间，可列出如下：

（1）固定翼的概念：凯利（1799年）。

（2）用于主升力面的弓形翼型：凯利（1799年）、韦纳姆（F.H. Wenham，1851年）和菲利普斯（1884年）。

（3）大展弦比的机翼：韦纳姆（1866年）。

（4）（a）桁架式双翼机结构：哈格雷夫（1893年）、夏尼特（1896年）和莱特兄弟（1903年）；

（b）张线式单翼机结构：亨森（1841年）、李林达尔（1891年）、布莱里奥（1907年）和埃斯诺–佩尔特里（1907年）。

（5）具有纵向上反角的纵列水平翼（为了纵向稳定性）：凯利（1799年）、佩诺（1871年）和李林达尔（1891年）。

（6）固定的垂直尾翼（为了航向稳定性）：凯利（1799年）、佩诺（1871年）和李林达尔（1891年）。

（7）给主机翼设定一个上反角（为了横向稳定性）：凯利（1809年）、佩诺（1871年）和李林达尔（1891年）。

（8）（a）后升降舵（为了纵向操纵性）：凯利（1799年）、亨森（1841年）和李林达尔（1895年）。

（b）前升降舵（为了纵向操纵性）：马克沁（1894年）和莱特兄弟（1901年）。

（9）方向舵（为了航向操纵性）：凯利（1799年）和亨森（1841年）。

（10）（a）机翼扭转（为了横向操纵性）：莱特兄弟（1901年）。

（b）副翼（为了横向操纵性）：博尔顿（M. P. W. Boulton，1868年）、埃斯诺–佩尔特里（1904年）和桑托斯–杜蒙（1906年）。

（11）旨在减少阻滞的流线型：凯利（1804年）。

（12）滑翔机的实际航行经验：李林达尔（1891年）和莱特兄弟（1901年）。

(13) 一台足够轻巧而功率巨大的发动机：兰利（1903年）和莱特兄弟（1903年）。

(14) 用于推进的飞机螺旋桨：布朗夏尔（1784年）和凯利（1809年）。

(15) 一种用于起飞和着陆的起落架（或其他装置）：亨森（1841年）、皮尔彻（1896年）、莱特兄弟（1903年）和桑托斯－杜蒙（1906年）。

(16) 动力飞机的实际航行经验：莱特兄弟（1903年）。

除（13）外，所有这些步骤，都唯一地与实现人类飞行相关。汽油发动机是为了其他目的（第18章）而发展起来的，把它应用于飞行器对动力飞行的实现极其重要。人类飞行或许会通过一种轻巧的燃油蒸汽机而成为可能，但在实践中各种形式的内燃机被证明是必不可少的。19世纪末期，当空气动力学知识能够使它充分地得到应用的时候，一种具有足够大的功率重量比且对所带燃料的重量有适度要求的发动机及时地出现了。然而，首先需要做的是设计出一种能把自己支撑在空中并受控于驾驶员的机器。

从上面所列内容可以清楚地看出，“发明”飞机主要是做这样一件事，从实验家和理论家在前100年中积累下来的大量丰富的信息（其中有许多是多余的或引人误入歧途的）中选取正确的要素，然后把这些要素成功地组合成一个轻巧但坚固的结构。这就是莱特兄弟的伟大成功之处。他们在“飞行者号”上采用了许多解决方案，无论是它的总体构造、机翼扭转、起飞用的轨道、动力传输的方法、互连扭转和方向舵操纵系统，还是或许是最为重要的有意设计的不稳定性，实用性其实都很有限，而且不久就导致了他们的设计黯然失色。但是，最为关键的是，欧洲设计的飞机的首飞成功比莱特兄弟的飞机晚了3年以上，而且即使在那个时候，它们有时也被证明是有效性明显较差的飞行器。因此，奥维尔·莱特在1903年12月

412

7日进行的飞行无可争议地是人类历史上的重大转折点，在运输方面和军事方面开创了一个新时代。

17.10 火箭的发展

火箭起源于中国（第Ⅱ卷，边码378），作为武器有记载的最早使用是在1232年，当时蒙古人在汴京围攻战期间使用了火箭。1379年，火箭第一次在欧洲出现，在争夺基奥贾岛（island of Chiozza）的战斗中被人们用到。此后，火箭继续被人们不时地用于军事目的。火箭发展史上的重大进步是1805年康格里夫爵士（Sir William Congreve）的炮兵火箭，以及19世纪中叶出现的用尾翼进行稳定的黑尔（Hale）火箭。后者是自那以后人们使用的所有无制导火箭弹的鼻祖，包括第一次世界大战中的勒普里厄（Le Prieur）火箭以及许多由此发展而成的火箭，它们在第二次世界大战中得到了广泛的使用。火箭发展史上的决定性进步是一种液体燃料火箭在1926年3月16日的首次飞行，这种火箭由美国人戈达德（R. H. Goddard）设计。

首次提出用火箭为一种航空器提供推进动力的，看来是一位名叫万户（Wan-Hoo）的中国人。据说，他在1500年前后设计了一种用火箭推进的风筝，这比公认的首次用火箭推进的飞行早了400年以上。

1929年9月30日，冯·奥佩尔（F. von Opel）用一架由火箭推进的滑翔机飞行了约2英里。这种推进形式的下一步发展是海因克尔（Heinkel）的He 176火箭飞机在1939年6月30日的首次飞行，以及第二次世界大战即将结束时梅塞施米特（Messerschmitt）的Me 163火箭歼击机在德国人作战行动中的有限使用。沿着这条路线的进一步发展，导致了火箭推进的贝尔（Bell）X-1成为第一架由人操纵的超音速航空器，时间是在1947年10月14日。

以上这些实际应用都将火箭作为固定翼飞机的推进器。然而，以第二次世界大战中德国人研制的V-2火箭为先导，出现了制导弹道导弹，火箭由此开始以其自身实力作为一种航空器进行发展。假以时

日，这种导弹也许会发展成这样的载人飞行器：在其飞行路程的第一阶段，沿着弹道轨迹飞行，而在其航程的后一部分和着陆时，转成固定翼飞机的飞行方式；或者，通过喷气发动机或火箭的推力来获得低速飞行升力。未来，火箭将从航空领域进入航天领域。火箭已经在地球卫星发射方面发挥了关键作用，而且总有一天会采用分子燃料或核燃料，为星际旅行提供推进装置。

参考书目

Chambe, R. 'Histoire de l' aviation' . Flammarion, Paris. 1948.

Davy, M. J. B. 'Aeronautics: Heavier-than-air Aircraft.' H. M. Stationery Office, London. 1929.

Idem. 'Aeronautics: Lighter-than-air Aircraft' . Ibid. 1934.

Idem. 'Aeronautics: Propulsion of Aircraft' . Ibid. 1930.

Idem. 'Interpretative History of Flight.' Ibid. 1937.

Dollfus, C. and Bouché H. 'Histoire de l' aéronautique.' L' Illustration, Paris. 1932.

Gibbs-Smith, C. H. 'A History of Flying.' Batsford, London. 1953.

Hodgson, J. E. 'The History of Aeronautics in Great Britain.' Oxford University Press, London. 1924.

Kelley, F. C. 'The Wright Brothers.' Harrap, London. 1944.

Nessler, E. 'Hisitoire du vol à voile de 1506 à nos jous.' Œuvres Françaises, Paris. 1948.

Taylor, J. W. R. 'A Picture History of Flight.' Hulton Press, London. 1955.

Turner, C. C. 'The Old Flying Days.' Samson, Low, Marston, London. 1927.

Vivian, E. C. and Marsh, W. L. 'A History of Aeronautics.' Collins, London. 1921.

Ward, B. H. (Ed.). 'Flight-a Pictorial History of Aviation.' Published by Year-the Annual Picture History, Los Angeles. 1953.



凯利于 1799 年提出的载人滑翔机的草图。

第18章 机械式道路车辆

D. C. 菲尔德（D. C. FIELD）

18.1 自行车

关于一种可以让人骑坐在上面并推动自己前进的两轮车的基本设想无疑是相当古老的，但是它直到1818年才有了一个实用的形式。那一年，德国的德赖斯男爵（Freiherr Karl Drais von Sauerbronn，1785—1851）制造了一种改进型轮式木马（hobby-horse或dandy-horse，这种车子在英格兰就是被这样称呼的）。它有一个木制的车架或称主骨架，上面用铁架安装着两个同样大小的车轮，可以通过固定在前叉顶部的一个把手让前轮做相对于车架的转动（图217）。骑车者坐在位于主骨架中点的一个鞍座上，身体前倾，靠在鞍座与把手之间的一个靠垫上，两脚轮流大步蹬地，推动自己前进。车轮是木制的，没有安装制动器。骑着这种轮式木马下坡的话，一定是惊心动魄的。

大约在1839年，苏格兰人麦克米伦（Kirkpatrick Macmillan）制成了一辆车子，采用了一个用连杆和曲柄连接到后轮的踏板系统。这是第一辆让骑车者不通过用脚触地的方式而推动前进的自行车，后轮上有一个制动器，只需扭转车把就可以让它起作用。将脚蹬、曲柄直接作用于轮式木马的轮子，则是1861年以后出现的，而最早将脚蹬、曲柄用于前轮的功劳，必须给法国人米肖（Ernest Michaux）。1867年，他成立了一家制造自己设计的脚蹬车的公司。在前一年的年末，拉勒

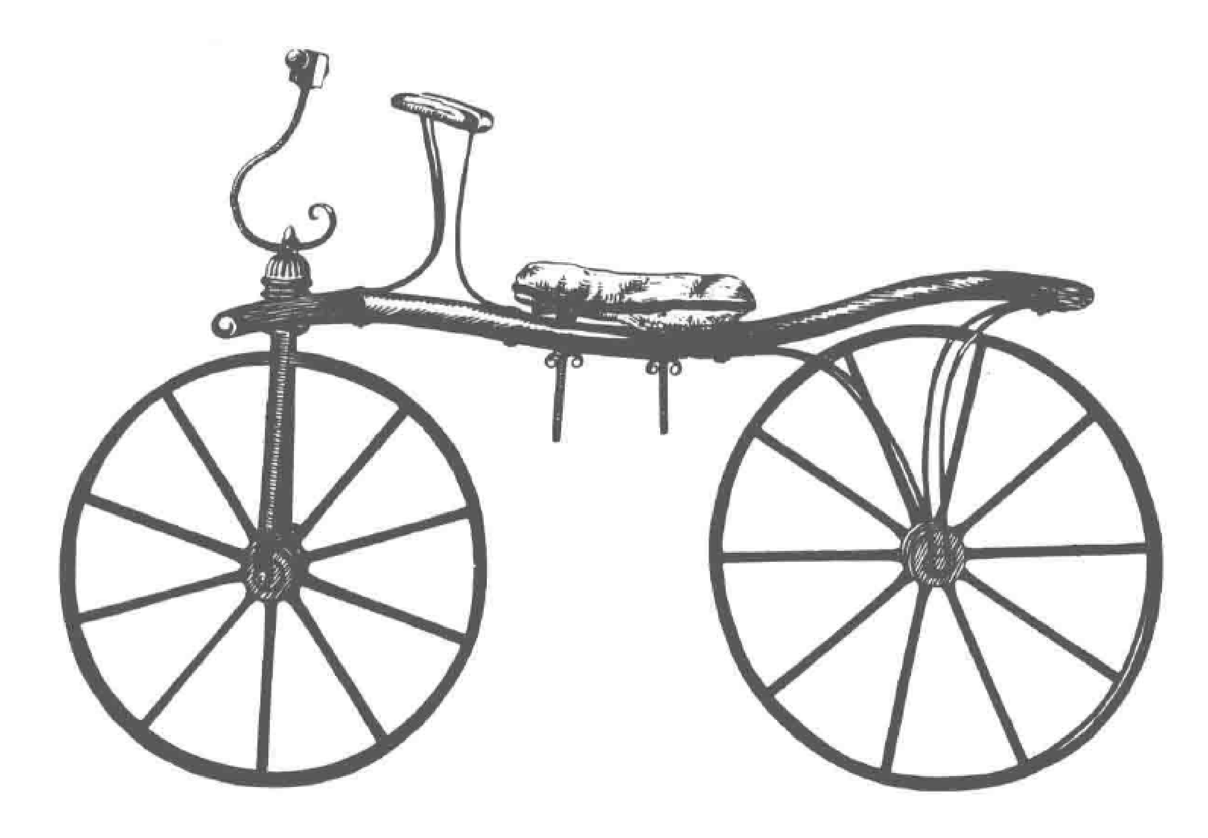


图 217 德赖斯式自行车（或称“轮式木马”），约 1818 年。

芒（Pierre Lallement）和卡罗尔（J. Carrol）联合获得了美国的第一个自行车专利。

在接下来的几年内，自行车工业在法国迅速发展。1869 年 11 月 17 日，在一场从巴黎到鲁昂（距离为 83 英里）的大型国际赛车比赛中，英国人穆尔（James Morre）骑着一辆装有滚珠轴承的自行车获得了冠军。此后，他设计了更为有效的滚珠轴承，很快被自行车制造商广泛采用。这一年，面对自行车需求量不断增长的事实，英国猛然醒来，第一批英国制造的自行车在考文垂完成。1874 年，这座城市的詹姆斯·斯塔利（James Starley，1831—1881）获得了第一种女式自行车的专利，而且发明了切向辐轮，这是对较早的径向辐轮的一项重大改进。1876 年，他取得了“考文垂”三轮车的专利，一年后又取得了另一项关于差动齿轮与链条传动结合使用的专利，这正是他体现在“考文垂”三轮车上的特征。这种自行车为其他制造商引进二轮、三轮和四轮的多种不同设计铺平了道路。1884 年，市场上的自行车有

200多个品种。

一个典型的例子就是奥托(Otto)自行车，它也被称为双轮车，由一对相隔数英尺的非常大的驱动轮组成，骑车者高高地坐在两轮之间车轴上方的一个鞍座上(图218)。踏板通过一个皮带传动机构与每个车轮相连，方向则通过骑车者两侧各一个小型铲状把手进行操纵。当转动其中一个把手时，这一侧的传动带就打滑，同时可能产生某种刹车作用，另一侧的车轮就导致车子转向所期望的方向。要让这种车在道路上达到一个说得过去的速度，骑车者必须具有充分的自信心，而在车上正确地保持身体平衡，本身就是一种技巧。所有诸如此类的设计都因宽度过大和笨拙丑陋等缺点颇遭贬责，所以仅流行了很短的一段时间。

图218 奥托自行车，1880年。

于是，高座自行车或称“普通”自行车(图219)迅速发展成为一种被普遍认同的车型，其原因不言自明或可以理解。为了让直接装在前轮即“高”轮轮毂上的脚蹬每转一周就使车子行进一段合理的距离，有必要把前轮的直径定为4—5英尺。事实上，车轮正是这样制作的，只是为适应不同骑车人的腿长而被分为多种规格，每种规格的直径相差2英寸。使这种前轮驱动的自行车安全一些的尝试有许多，其中一种就是“袋鼠”(Kangaroo)自行车，其前轮即驱动轮比“普通”型要小得多，脚蹬安在轮毂与地面的大约1/2处，通过增速传动链条来驱动前轮。还有一种设计是采用了一种杠杆装置和行星齿轮传动机构的“齿轮传动灵敏”(Geared Facile)的自行车(图版16A)，前叉稍微倾斜，可将骑车人的重量置于车轮中心后方较远的地方，这对骑行有所助益。

416

当代低座自行车的出现，早在1876年就有了先兆，当时劳森(H. J. Lawson)获得了一种被称为“鳄鱼”(Crocodile)的后轮驱动的自行车的专利。这种车的后轮比前轮大得多，由一种杠杆和踏板系统驱动着旋转，但它并非一种商业上的成功。1879年，劳森设计出第一辆使用普通曲柄和脚蹬的后轮驱动型低座自行车，并采用了一条增速传动链条连接到小后轮上(参见图220)，但一个大前轮使得这种自行车的外观颇为难看。





图219　拉奇(Rudge)“普通”自行车，1884年。

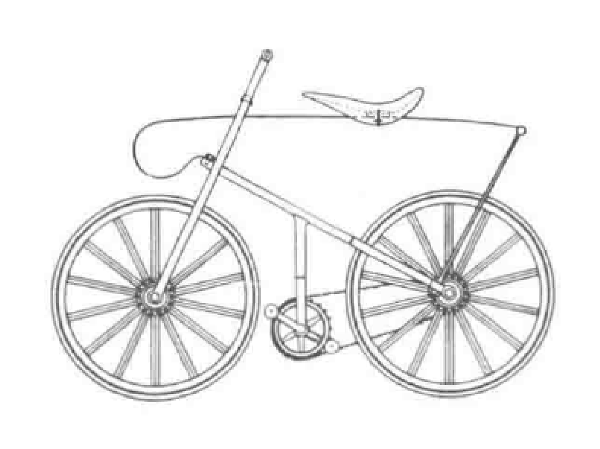


图220　第一辆采用链条传动的低座自行车的一种发展型，由劳森制造。1879年。

417

设计并制造出第一辆在商业上获得成功的低座自行车的任务，由詹姆斯·斯塔利的侄子、考文垂的J. K. 斯塔利(J. K. Starley)来完成。他在1885年设计并制造的罗孚(Rover)自行车(图221)，用到了现代自行车的所有元素，轮子几乎是同样的尺寸，方向用倾斜的前叉直接操纵，后轮通过增速传动链条来驱动，很快就广泛流行起来。这种车以及按类似原则制造的其他自行车(图222)的引入，注定了“普通”自行车的灭亡。随即发明的充气轮胎(边码771)给“普通”自行车以最后的致命打击，而到世纪之交的时候，这种低座自行车(这时已配上了一个飞轮，这是至少30年前就已预见到的一种设备)便称雄天下了。

418

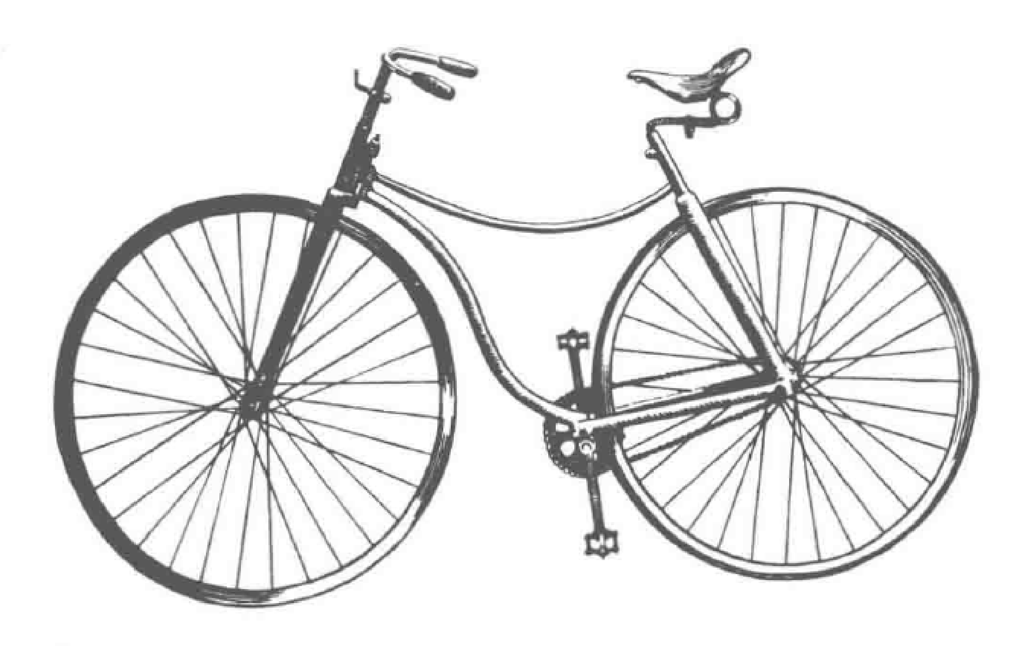


图 221　罗孚（Rover）低座自行车，1885 年。



图 222　胜家（Singer）低座自行车，1890 年。注意其转向轴轴线通过了轮胎与地面的接触点，这样可改善转向性能。

18.2　电动道路车辆

成功地利用电力来推动道路车辆，据说可能是随着 1880 年左右福尔（Camille Faure）对可充电电池［即普朗泰（Planté）蓄电池］的改进（边码 206）而开始的。在此之前的尝试有许多，但都依赖于原电池，而原电池绝对不能提供所需要的大电流，除非在一个极短的时间内。

1882年，艾尔顿（Ayrton）和佩里（Perry）造了一辆电动三轮车。它装有一台电动机和一个平台，电动机通过齿轮与一个车轮啮合，平台则承载蓄电池组，设备重量是如此之大，使得结果一点儿也不令人满意。1886年，沃德（Radcliffe Ward）制造了一辆电动的出租马车（cab），最大速度可达每小时8英里。它有一组28个蓄电池和一台电动机，后者通过一条皮带和一套两挡转速的摩擦传动装置驱动车轮。翌年，因建设沿布赖顿海岸线的电气铁路（边码347）而闻名遐迩的沃尔克（Magnus Volk），造了一辆电动的轻便马车（dog-cart），取得了一定程度的成功。这种车用一组16个蓄电池使电动机工作，电动机则通过一条链条驱动后轮，在情况良好的条件下能够以9英里的时速行进。

最早取得某种商业成功的电动马车（carriage）是由普尚（Pouchain）于1893年造的。这辆车设有六人座位，由一组54个蓄电池供电的3.5千瓦电动机，通过一个齿轮链条传动系统驱动着后车桥。借助于一个在若干电触点上滚来滚去的鼓形控制器，可以改变电池的分组连接情况，从而对车子的行进速度进行调节。这看来是此类设备中记录最早的实例。

1894年，加勒德（Garrard）和布卢姆菲尔德（Blumfield）造了一辆具有4个车轮、安有大截面充气轮胎的车子。它采用了一台等速型电动机，配以一种传动比可变的摩擦传动装置，具有一组24个蓄电池，总重约半吨，速度可达每小时10英里。

419

在1898年的一种让托（Jeantaud）电动马车中，人们采用了前轮架系统，电动机就装在前车桥的后面，并通过减速传动装置驱动前车桥。这根车桥的两端巧妙地安置有伞齿轮，以确保阿克曼（Ackermann）转向机构的动作在任何情况下都不会影响动力向车轮的传输。1897年，电力推进的车辆取得一定成功，足以保证人们朝着商业应用的方向进行认真尝试，伦敦电动出租马车公司（London

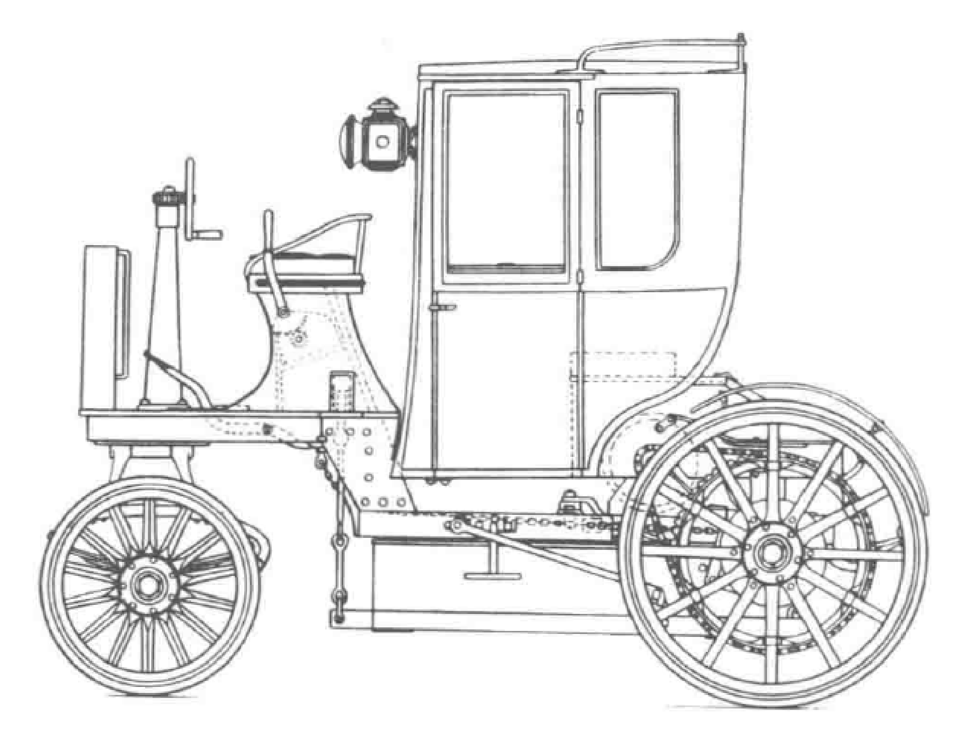


图 223　伯赛（Bersey）电动出租马车，1897 年。

Electric Cab Company）在城市街道上开始提供电动出租马车的定班服务（图 223）。

这些出租马车的设计十分巧妙，采用了一种可以方便移动的盘子，里面装有 40 个蓄电池，据说充一次电能够驱车行进 50 英里，然后需要取走这些蓄电池，在公司的充电站换上一组充足电的蓄电池。在充电站，一个液压升降系统能够保证这个操作实行起来非常迅速。

一台安装在后部的可输出 3 马力的电动机，通过正齿轮传动装置驱动一根中间轴转动。这根中间轴上装有差动齿轮，在其两端又有链轮，后者通过链条带动每个后轮上装着的大链轮。除了带式制动器（作用于后轮制动鼓）外，还设有一个鼓形控制器，通过反转电动机接线来实现电动“正反馈”刹车。转向由一个竖直安装的手轮操纵，可使整个前轮架围绕一个中心枢轴转动，中心枢轴则用一个滚球座圈安装在锁定板之间。

由于种种原因，伦敦电动出租马车公司没有获得成功，定班服务

进行了大约两年就停止了。它在商业上未获成功的原因之一，无疑是车身重量过大以及结构非常笨重而烦琐，结果造成行车速度慢，车身在起动和停车时有点颠簸。在1899年业务停止时，大约有36辆配置完整的车和41辆配置不完整的车要卖出，从这些数字可以大致推断出这家企业的规模。

这个问题同样也摆在任何用电池驱动车辆的设计者的面前。在一种全新的、形式轻巧的蓄电池发明出来之前，电动车辆即使除了电池之外在其他方面都很理想，比方说安静、容易操纵，而且不同于汽油车或柴油车，不会产生气味和令人讨厌的废气来污染大气，它的表现也必然会处处受到电池重量的限制。

在19世纪用电力推动的车辆中，最著名的可能是1899年由比利时人热纳齐（Camille Jenatzy）造的呈雪茄烟形状的车子“从不满足号”（*La Jamais Contente*）。1899年4月2日，他用这辆车在法国的阿谢尔创造了在1公里距离内时速近66英里的陆地车速世界纪录。

18.3 蒸汽机道路车辆

蒸汽机大马车（road-coach）的早期发展阶段到1840年就已经结束，它的发展被活活扼杀，原因是地方道路管理部门对一门本来可以欣欣向荣且技术成功的新工业征收捐税过重。当时，人们对通过机械方式进行道路运输的兴趣已经减退，为进一步发展蒸汽动力在普通道路运输上的应用进行认真的尝试则是许多年以后的事了。然而，总有少数具有远见卓识的人在继续着自己的实验。他们认识到这样一个事实，由机械推进的道路车辆对形式更为原始的运输工具的显著优越性，总有一天会到处体现出来。这一时期在铁路机车发展上的巨大进步，无疑对他们产生了相当程度的影响，而且使他们充分地确信制造由蒸汽驱动的私人车辆是可行的。

于是，白金汉郡的里基特（Thomas Rickett）在1858年造了他的

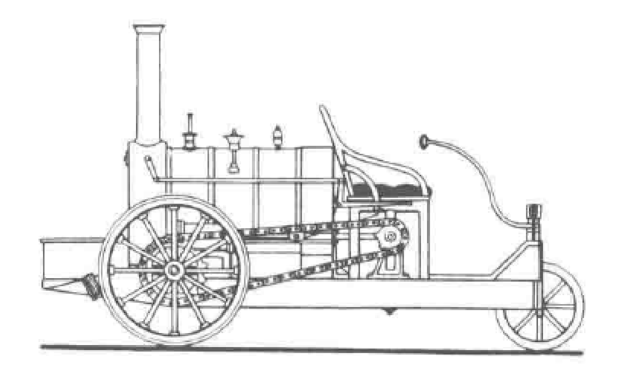


图 224　里基特的蒸汽机马车，1858 年。

几种蒸汽机马车中的第一种（图224）。它与其说像一辆马车，还不如说像一辆小型的铁路机车，主要是一台装载在三个车轮上的蒸汽机，后面是两个大驱动轮，前面是一个较小的轮子，用于车的转向。一个三人（包括司机）座位被安置在锅炉的前面，司炉则由后部的一个平台作为工作场所。右后轮由一根来自蒸汽机的链条所驱动，另一个后轮则在主桥上自由转动。当要上陡坡或遇到路面情况不好时，两个轮子可以被同时驱动，有一个离合器就是用于这一目的。当车沿曲线绕行时，离合器就得松开。该车重量为 1.5 吨，最高时速达 12 英里。两年后，里基特又制造了一辆类似的但重量稍有增加的蒸汽机车辆，总体设计与前相同，只是采用了正齿轮传动来取代链条传动（图 225）。在他最后的设计中，汽缸与驱动桥上的曲柄在车体外部直接相连，就像铁路机车所用的方式。

1861 年，利兹的卡雷特－马歇尔公司（Carrett，Marshall & Company）造了一辆重 5 吨、可乘坐 9 人的机动车。这辆车的总体设计在许多方面与里基特的蒸汽机车辆很相似，采用了一台双缸蒸汽机以及正齿轮传动装置。1862 年，亚罗（Yarrow）和希尔迪奇（Hilditch）造了一辆蒸汽机马车，可以运载 11 人，且用了一台立式多管锅炉。

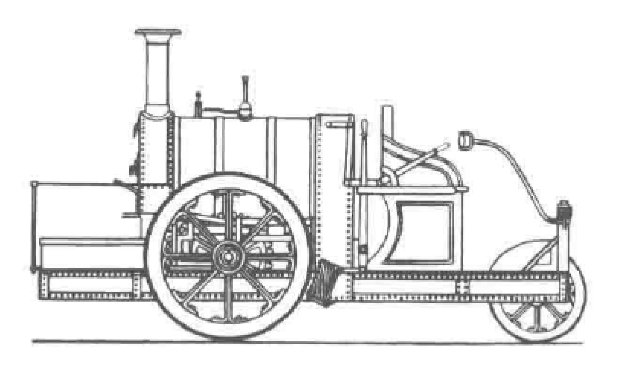


图 225　里基特的改进型蒸汽机马车，1860 年。

它的后驱动轮置于主车架之内，且都固定在车桥上，当车转弯的时候，其中轮子的滑动比其他设计中的轮子要小很多，这是因为两轮间距相对较近。也是在 1862 年，帕特森（A. Patterson）

造出了一辆类型完全不同的蒸汽机马车。这辆车采用了前轮架设计，蒸汽机和双速传动装置都安装在前轮上面的一个转台上，只要使这个转台转动，就可以使车子转向。前轮就是驱动轮，一台立式锅炉安置在前轮的上方，锅炉的一侧安有一个汽缸。后部的客车厢可坐 6 人或 8 人，全车重约 1 吨。

霍尔特（H. P. Holt）于 1866 年造了一辆小型的蒸汽机车辆，它在水平道路上能达到的最大速度为每小时 20 英里。车后部装有一台立式锅炉，还有两台分离的双缸蒸汽机，每台蒸汽机通过一根链条和一些链轮各驱动一个后轮，这样就省去了一个差动齿轮。他还设计了一种悬挂单前轮的巧妙方法，所有因道路不平引起的震动都由此传到主架上，而不是传到前轮的转向枢轴上。这辆车可乘 8 人，自重 1.5 吨。1869 年，约克郡的卡特利－艾尔斯公司（Catley & Ayres）造了一辆由一台卧式双缸发动机推进的小型三轮车，这台发动机通过正齿轮传动装置驱动后车桥，只有一个后轮是驱动轮，另一个后轮可在轴上自由转动。一台立式火管锅炉被安装在车尾，火室和烟囱用一个亮铮铮的铜罩子罩着，锅炉在后面，用一个红木罩子围着，一个单前轮用于转向，车重仅为 19 英担。

422

在 1868 年至 1870 年间，法纳姆的奈特（J. H. Knight）造了一辆四轮蒸汽机马车，最初只用一台单缸发动机，但是后来装上了两个汽缸。这是一辆很重的车，在工作状态下大约重 33 英担，车尾安有一台立式锅炉，车前部有个座席，可供 3 个人坐，后部的加煤平台上还有容纳两个人的地方。其只有一个后轮是驱动轮，在水平道路上的速度可达每小时 8 英里。1871 年，阿伯丁的汤姆森（R. W. Thomson）所造的蒸汽机车辆声名鹊起，主要是因为这些车子的车轮装上了厚厚的实心橡胶轮胎，比起通常采用的铁轮箍来，大大增加了车轮的附着摩擦力。这种车子其实是牵引车，其中一些在印度被用来牵引用于客运和邮政的两轮公共马车。

1872年，由格拉斯哥的伦道夫（Charles Randolph）造的蒸汽机大马车，表现出许多令人感兴趣的特点（图226）。该车全长为15英尺，准备好上路时重达4.5吨，但它的最大速度仅为每小时6英里，因为功率多少有点不足。位于中央的客车厢可安置6位乘客，前面驾驶室里司机旁边还可以坐两个人。后部的隔间内有一台立式锅炉，锅炉的两侧各有一台立式双缸蒸汽机，这两台发动机彼此独立，每台通过正齿轮传动装置驱动一个后轮。整个车子被包封起来，四周全是车窗。

423

这辆车的装备看来十分齐全，甚至配有一面后视镜，以观察从后面逼近的交通车辆，这是此种设备中记录最早的实例。这辆车一定是过于笨重、累赘且不实用的，没过几年就不再使用了。

1875年，格拉斯顿伯里的格伦维尔（R. Neville Grenville）设计了一辆蒸汽机三轮车，特别令人感兴趣的是，它一直留存到现在，而且近几年还在道路上进行了十分成功的行驶。这辆车安装有一台卧式双缸发动机，虽然最初造出来的时候采用的是一台立式单缸发动机。一台用于蒸汽机救火车的立式锅炉被安装在车的后部，锅炉后面有一处供司炉用的平台，前部的两个座席可坐6人，司机坐在前座的中央，右侧是制动员。该车装有柚木制的带有铁轮辋和铁轮箍的实心圆盘状车轮，一个单前轮用于操纵方向，全车重达45英担，车身用硬红木制成，最高时速约为15英里。这辆车现在保存在布里斯托尔的城市博物馆里。

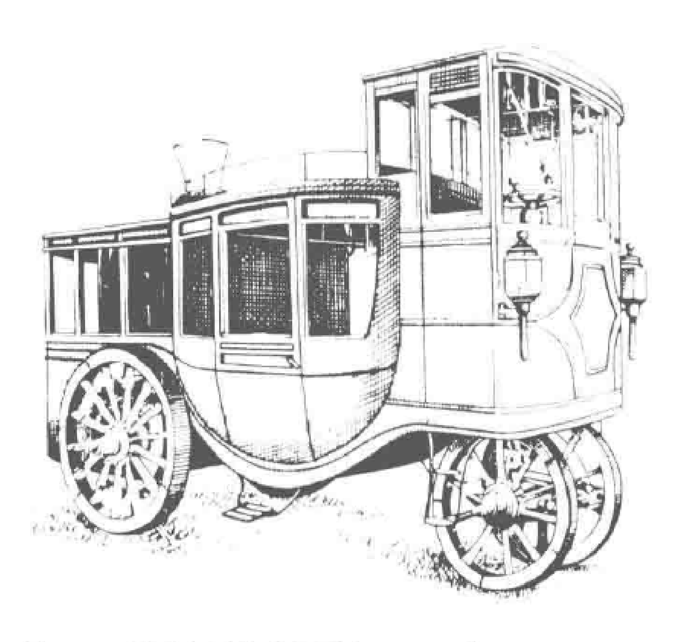


图226　伦道夫的蒸汽机马车，1872年。

1880年，勒芒的博莱（Amedée Bollée）设计并造出了一辆蒸汽机四轮大马车，而且行驶得相当成功。这辆

车显示出许多令人感兴趣之处，它在总体布局上完全不是以前那种结构，而是与很久以后才出现的汽车的总体布局很相似。一台立式双缸蒸汽机被安装在前车桥的前部，并通过一个离合器、传动轴及伞齿轮传动装置径直驱动一根安装在后车桥稍前一点的中间轴。这根中间轴上装有一个差动齿轮，两端还安有小型链轮，由此通过链条向每个后轮上的链轮进一步传送动力。后轮被安在一根固定桥梁的两端，可以自由转动，这根桥梁则用椭圆形悬架弹簧固定在车架上。后部的一台立式水管锅炉有一个烟囱，正好支住司炉舱的屋顶。紧挨在蒸汽机后面的是一个竖直安装的方向盘，它通过一套齿轮齿弧装置控制转向，前轮安装在短短的摆动轴上，从摆动轴向后伸出的臂杆则通过一些连杆与齿弧相连。在一根穿过中空转向柱的轴的顶上，装有一个手柄，用它可以使后轮上通过螺旋操纵的制动块起作用。有一个为司机准备的单独的前座，用一个车篷罩着，在司机座与锅炉房之间则是一个舒适的封闭车厢。据说，这辆车在平地上曾达到每小时 18 英里的速度。

这一时期还进行了设计一种轻得多的蒸汽驱动车辆的许多尝试。1887 年，德·迪翁伯爵(Comte de Dion)造了一辆小型蒸汽机三轮车。这辆车的前面有两个车轮，两个车轮之间是蒸汽发生器，一个单后轮则由发动机驱动。这辆车装了充气轮胎，几乎可以肯定这是具有如此装备的动力驱动车辆的最早例子。同年，塞波莱(Léon Serpollet)造了一辆燃煤的蒸汽机三轮车，它有两



图 227　莱昂·塞波莱的燃煤的蒸汽机三轮车，1887 年。

424

个后驱动轮，动力装置就安装在两个后轮之间（图 227）。两年后的1889 年，他发明了随后广为人知的瞬时蒸汽发生器。在这个设备中，一叠用镍钢管弯成的扁平盘管被一圈接一圈地连在一起并安置在箱子中。当少量的水从盘管的下端泵入时，燃烧器的热和赤热盘管的热立即把水转换为蒸汽。当蒸汽通过所有的盘管而到达发动机的时候，蒸汽不但被过热到一个相当的程度从而使膨胀力增大，而且比火管或水管锅炉产生的蒸汽要干燥得多。1894 年，塞波莱成功地将这种蒸汽发生器用于一辆蒸汽机马车。在后来的样式中，他安装了不是燃烧石油就是燃烧煤油（paraffin）的燃烧器和一台采用了提升阀装置的卧式对置四缸蒸汽机。1899 年，一位名叫加德纳（Gardner）的美国人在经济上支持了塞波莱的事业，于是这种加德纳－塞波莱蒸汽机车辆在英国和法国都变得极其出名，这种状况一直保持到 1907 年塞波莱去世。

1896 年，老牌的桑尼克罗夫特（Thornycroft）商行造了一辆蒸汽机货车，特别令人感兴趣的是，它至今尚存而且机件正常。一台双复式凝汽式蒸汽机通过一些链条和一个差动齿轮驱动前轮，后轮是转向轮，直径小于前轮。一个水平的方向盘通过一个蜗杆链条机构与车后部的转台连接，从而控制后轮的转向。这辆货车使用了一台燃焦炭的水管式锅炉，一台凝汽器安置在其顶上，时速可达 9 英里。

还有一辆有趣的蒸汽机车辆，是由诺福克郡马舍姆的索姆（G. S. Soame）在 1897 年左右制造的，它也保存至今。在某种程度上，这辆车沿袭了某些已述的早期汽车的发展路线，后部的一台卧式双缸发动机通过一个双速的滑接式变速器和两条侧传送带驱动着后轮，后部还有一台立式锅炉。类似马拉大车的车身上方覆有顶篷，车内可坐五人。这辆车以焦炭为燃料，用手柄操纵方向。

1897 年末，马萨诸塞州牛顿市的斯坦利（Stanley）兄弟开始试验他们的第一辆蒸汽机车辆，这是蒸汽机车辆设计上一次新奇的冒险性尝试。这辆车采用了一种结实而轻巧的构造，总重仅约为 7 英担。

管式构架上载着一个木制的两座席车身，一台立式双缸发动机被安装在中部，用一根链条通过一个差动齿轮驱动后面的驱动桥。一台小型的用石油喷烧器加热的立式火管锅炉被安装在座席的底下，供水箱则占据了放行囊的地方。这辆汽车安装了椭圆形弹簧，使用了安有单管充气轮胎的钢丝辐轮（图版 18B）。虽然斯坦利兄弟在 1899 年把这个设计卖给了美国自动机车公司（Locomobile Company of America），但在 1901 年又开始了一种改进型蒸汽机车辆的制造，而这一实验可以说正是一度辉煌的美国蒸汽机车辆制造业的起源。

牵引机。1850 年左右，人们发明了一种用蒸汽机犁地的方法。在这种方法中，采用“便携式”蒸汽机通过绕在滚筒上的钢丝绳将一副犁拖过一块田地，滚筒则放在这块田地的相对两侧（第Ⅳ卷，图 11）。这种蒸汽机由一台安装在一对大后轮上的卧式锅炉和一个用于转向的前轮架组成，一台单缸发动机被安装在燃烧室的上方。到 1856 年，人们产生了将曲柄连接到后车桥的想法，目的是制造一种能靠自己的动力进行移动的发动机。

426

这种方法一经提出，许多商行就开始了牵引机的生产，其中最有名的三家是“埃夫林”（Aveling）、“伯勒尔”（Burrell）和“福勒”（Fowler）。最初，有关的设计紧跟着“便携式”蒸汽机的样式，但到 19 世纪 60 年代，发动机汽缸被安置到了锅炉的前面，并且一直保持了下去。转向通常是通过一个额外的车轮或者说第五个车轮完成的，这个车轮附加在前轮架的前面。到 1870 年，齿轮传动代替了链条传动，车轮转向的操纵改在司机位置上进行，这就完成了最终的设计。这种设计在好多年内都保持不变。

牵引机接下来值得注意的重要发展，一种是用来自飞轮的一条皮带驱动安装在锅炉前上方一个支架上的直流发电机，为各种目的提供电力；另一种是当用于公路运输时，在一直沿用的铁轮箍上使用了实心橡胶轮胎。20 世纪那种为游乐场提供动力和照明的富丽豪华的车子，

意味着蒸汽牵引机的发展走到了绝对的尽头。可惜的是，这种车子现在已被观赏性较差但效率更高的内燃机车辆所完全取代。

18.4 汽油机驱动车辆

尽管某些早期用蒸汽机驱动的道路车辆取得了有限的成功，许多发明家仍然拒绝未来的私人车辆采用蒸汽机驱动的想法。蒸汽机车辆又笨又重，而且虽然可以设计出一种轻型蒸汽机，但它的辅助设备——锅炉或蒸汽发生器以及燃烧器——不可能做得足够轻巧或紧凑，也就不可能被令人满意地安置在一辆相对小而轻的道路车辆里。况且，为了补充水，必须频繁地停车，这个缺点总是存在的。

最早宣称造了一辆用燃烧石油精的内燃机驱动的车子的人，是奥地利的马库斯（Siegfried Marcus）。据说他在1864年前后造了这样一台发动机，并将它安装在一辆小手推车上。除了这是一台立式发动机以及它的两个飞轮代替了那辆手推车的后轮之外，人们对它的构造细节几乎一无所知。据说它仅进行了一次短途的实验性行驶就被毁掉，因为这位发明者对结果很不满意。马库斯还因造过另外三辆车而留下功绩，其中最早的一辆现存于维也纳技术博物馆（Technical Museum in Vienna，图版18A）。这辆车据说造于1874年，具有许多巧妙的特点，但是过于笨重和累赘。它的发动机是卧式单缸四冲程型的，活塞通过一个摇臂系统使曲柄旋转。有一个锥形离合器，安有四条皮带，以驱动后桥和后轮。通过一个手轮蜗杆蜗轮装置使整个前轮架转动，从而实现转向。采用了一种形式独特的化油器，其中一把旋转着的刷子将雾状燃料喷进吸入管。安装了一种低压电磁点火系统，这肯定是在道路车辆中采用这种设备的已知最早的例子。这辆车的最大速度是每小时5英里。看到自己的设计即使形式如此粗糙却仍很实用，马库斯心满意足，显然失去了把这些设计完善化的兴趣，转而投身于其他活动了。他的后两辆车，现在去向不明。

427

德国曼海姆的本茨(Karl Benz)(边码 167)是个极其与众不同的人。他在 1885 年造了一辆轻型三轮车，由一台卧式单缸汽油发动机驱动(图 228)，直立的曲轴位于车的后部，其下端安装着一个水平的大型飞轮。据说这种不同寻常的安排是为了克服可能发生的陀螺效应，因为这种效应会影响车子的转向。动力通过一对伞齿轮从曲轴上端传给一根水平的短轴，连在这根短轴上的一条皮带则对一根位于车中部下方的具有一个差动齿轮的中间轴进行驱动。皮带可以从一个固

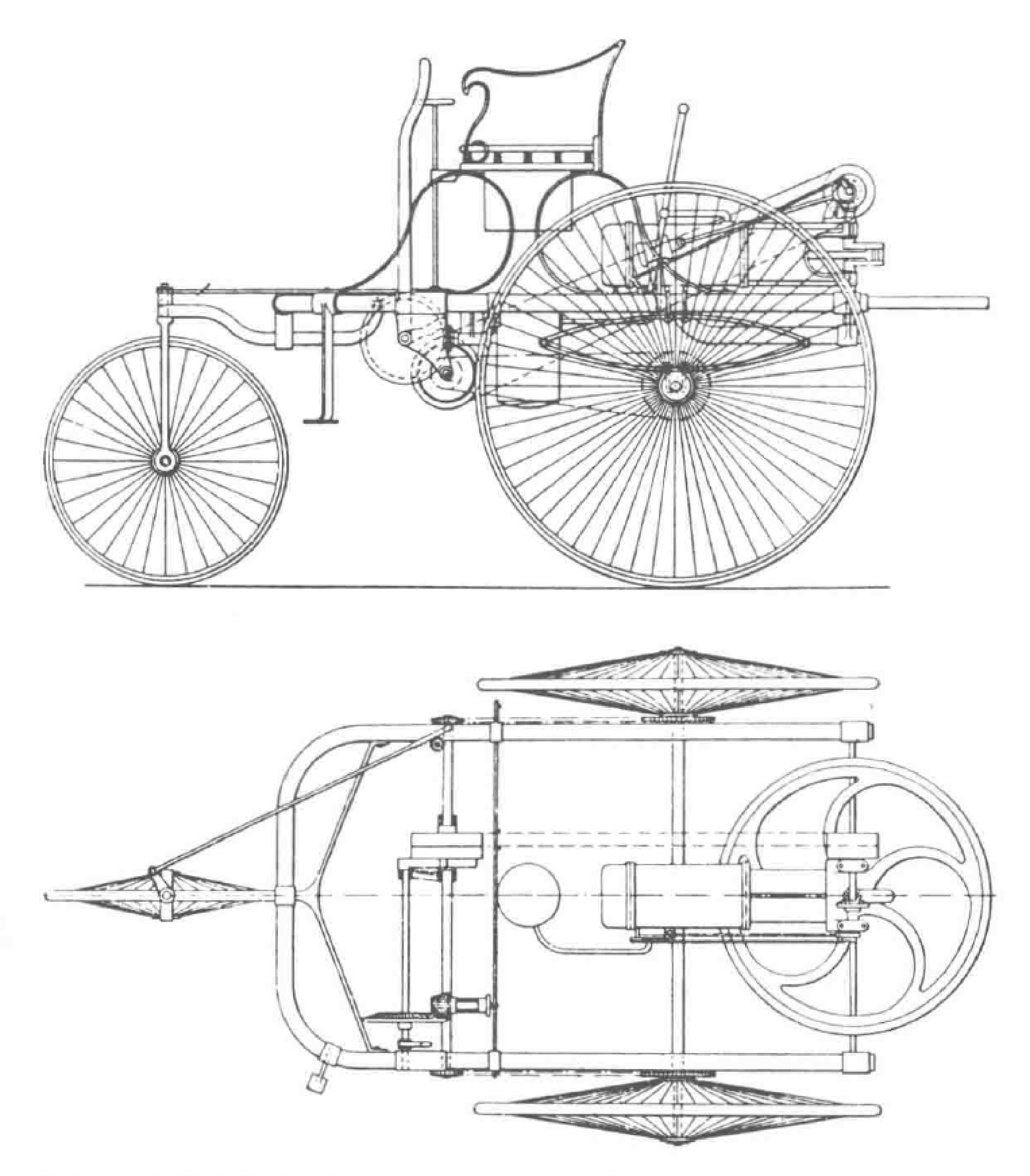


图 228　1885 年的第一辆本茨三轮车：立视图和平面图。

定皮带轮移到一个滑动皮带轮上，这样可使发动机在不驱动车子的情况下运转。连在中间轴上的一对链条对后轮进行驱动，一个小手柄则通过一个齿条齿轮式转向系统控制着单前轮的运动。此外，使用了一个表面化油器和线圈电池点火装置，速度为每小时 8 英里左右。

本茨继制造了两辆三轮车之后，又设计了一种四轮汽车。这种车最初在 1893 年造出来，除了曲轴改为水平安装和采用一种双速皮带传动机构外，其设计基本上与 1885 年的那辆三轮车相同。这种车型非常成功，在 1901 年被其他设计取代之前，按此制造的汽车有好几百辆，几乎都是 3.5 马力（图版 16B、图版 17A）。如果有什么人可以被称为“汽车之父”，本茨可以说是当之无愧。

在本茨对他的第一辆汽车进行试验的这段时间里，德国符腾堡的戴姆勒（Gottlieb Daimler）（边码 164）正在发明第一台高速内燃机。这是一种简单、轻巧且紧凑的立式单缸发动机。与在一个非常低的速度上运转的本茨卧式发动机不同，它实现了很高的每分钟转数，被应用到一辆摩托车上，并于 1886 年进行了第一次试验（边码 434）。同年，一台类似的发动机被安装在一辆马拉类型的四轮车的后部，原来的那些辕杆被一个转向机构所代替。次年，这辆车到道路上行驶，结果令人满意。1889 年，一辆四轮摩托车被设计出来并制造成功。此后，大量关于四轮汽车的不同设计被实施。所有这些车的特点是使用了热管点火系统及皮带传动（图版 17B）。这些由位于坎施塔特（Cannstatt ）的工厂自约 1894 年以来所生产的产品被称为“坎施塔特 – 戴姆勒”（Cannstatt-Daimler），以把它们区别于由考文垂的英格兰戴姆勒公司（English Daimler Company）制造的汽车（图版 19B）。后者建立于 1896 年，是一家完全独立的企业。最终，“坎施塔特 – 戴姆勒” 汽车以 “梅塞德斯”（Mercédès）而闻名于世。

428

在欧洲其他国家，相关发展也十分迅速。丹麦的哈梅尔（Albert Hammel）和约翰森（Hans Johansen）于 1886 年造的那辆汽车，是目

前尚存的最早的汽油机驱动车辆之一，现归丹麦技术博物馆（Danish Technical Museum）所有。这辆车所用的卧式发动机有两个并排放置的汽缸，并使用了一个表面化油器和热管点火装置。动力由齿轮和摩擦离合器传给一个单根的链条，由此驱动后驱动轮。作为没有安装差动齿轮的代替，每个后轮各由一个皮衬的锥形离合器驱动，这样当车经过各种弯道时，允许离合器有一定程度的滑动。一个极为巧妙的特点是，当要倒车时就从凸轮轴上取来驱动力，以提供一个反向的运动。除了将驱动力反向外，还会自动地将速度减半。它只有一个前进速度。两个理由使得转向机构引人瞩目，一个是安装了一个方向盘而不是一个转向手柄，另一个是连接机构的运作形式，向左转弯时必须使车轮向右移动，反之亦然。

1954 年，这辆汽车完成了从伦敦到布赖顿的纪念性行驶，用 12.5 个小时走了 53 英里，平均速度为每小时 4.5 英里，其间未发生大故障，最后 4 小时是在天黑以后，唯一的照明是蜡烛灯。对一辆当时已 68 岁的汽车来说，这次行驶成为一次精彩的表演。

在英国，最早的内燃机车辆开拓者是巴特勒（Edward Butler），他于 1884 年完成一项设计后，于 1887 年申请了一种三轮摩托车的专利，并于第二年对之进行了试验。他把这种车称为“汽油三轮车”（Petrol cycle），这是术语 petrol[1] 的最早使用记录。巴特勒使用了一台卧式双缸发动机，在最早的设计中，以车轴为曲轴，直接驱动单后轮。这种方式随后就被放弃，因为他发觉发动机的速度太慢了，于是加上了行星齿轮传动系。两根侧杆控制着前面的两个转向轮。它的一个独特之处在于，有一个踏板或脚踏操纵杆用来将后轮升起，离开地面，以发动机器。这辆车还采用了电点火方式。可惜的是，由于英国当时实施了反对道路车辆的限制性法规，巴特勒未能继续他的实验。

1　在现代的意义下（法语为 *pétrole*，即经精炼的石油）。

在法国，珀若（Armand Peugeot）正在试验一种构造像一轮三轮车的轻型汽车，它由一台V型双缸戴姆勒发动机驱动，而这台发动机是在巴黎的庞阿尔和勒瓦索尔商行（Panhard and Levassor）的许可下制造的。这辆在1889年至1890年间制造的车子，是在法国制造的第一辆由汽油机驱动的汽车，发动机被珀若放在车的后面。这辆车构造轻巧，使用了大钢丝辐轮和一种把手式转向装置。这种设计得到了进一步发展，珀若在1896年，用自己造的一台卧式双缸发动机取代了那台戴姆勒型发动机。到1902年，庞阿尔和勒瓦索尔商行才制造出一辆采用一台立式前置发动机的汽车。然而，法国汽车制造商中的头等席位必须给庞阿尔和勒瓦索尔商行。1889年，他们弄到了在法国制造戴姆勒发动机的权利，一台试验型汽车被制成并被彻底地试验。1891年，一辆设计完全不同的汽车被制造了出来，取得了很大的成功，值得对它进行相当详细的描述。

双缸戴姆勒发动机被竖直地安装在这辆车的前部，并且通过一个摩擦离合器连接到一个三速滑接式变速箱。变速箱的后面连到一根通过伞齿轮驱动的中间轴，由此车中部的一根链条将动力传送到装有一个差动齿轮的后驱动桥。除了一些细节上的变化和在随后的日子里对侧链或轴传动装置所做的替换，对其他几乎所有制造者的绝大多数汽车来说，这种总体布局方式成了一种标准方式。这辆车采用了由一个手柄控制的阿克曼转向机构，以及装有铁轮箍或实心橡胶轮胎的木车轮。数年后，庞阿尔和勒瓦索尔商行成为最早用方向盘取代转向手柄的汽车制造商之一。

在英国有一位重要的开拓者，那就是萨里郡法纳姆的奈特。他早在1868年就造了一辆蒸汽机汽车，在1895年7月又制造了一辆三轮汽油机汽车。这辆车具有一台卧式单缸发动机，以苯为燃料，随后则借助蒸发器使用煤油（paraffin）。起先是热管点火，不过后来改成了电点火。采用一个双速皮带传动装置，其中用张力惰轮来使所希望的

皮带承载驱动力而其他皮带空转。最初，这辆车只用了一个单独的前轮，但在1896年初，它被改成了四轮车，以增加稳定性，同时，最初的钢丝辐条式后轮被带有实心橡胶轮胎的木轮所取代。这辆车以这种样子留存到今天，现归法纳姆市区政务委员会所有。奈特把它看作一辆实验性的汽车，这导致了在不同的时候对它做了许多改动。例如，在1896年末，安装了一台大型汽缸并且最终运行良好，很容易达到每小时10英里的速度。这辆汽车与1895年的沃尔斯利（Wolseley）三轮汽车（边码432）应该共享“现存最早的英国制造的汽油机汽车”这一荣誉。

早期的英国汽车设计者中的最重要人物之一是兰彻斯特（F. W. Lanchester）。与当时的大多数汽车爱好者不同，他已经是一位杰出的工程师，认识到对自推动车辆的设计绝对要有一种新的态度，一种基于真正科学原理的态度。以前的发明家们都是根据将现成的马拉车辆改制成用机械推动这一思路行事，只不过是用一台发动机和传动机构去代替马，再加上适当的转向装置，得到的其实是一辆“无马马车”。

兰彻斯特决定从最基本的原理出发来设计这样一辆汽车——它几乎不借鉴或者完全不借鉴其他人特别是欧洲大陆的开拓者们的思想方法，而且要在几乎所有方面都是独创的，还要在一定程度上是实用的。他取得了多大的成功，可从下面这个事实来判断：现在（1958年）的每一辆汽车，仍然具有兰彻斯特在1895年至1896年期间设计的那辆汽车（图版19A）所表现的特征。这辆具有历史意义的汽车有着一个铜焊钢管车架，在它的中部倾斜安装着一台单缸空冷的5马力发动机。为了平衡所有单缸发动机固有的不规则冲击，使用了两根对转的曲轴，用齿轮连在一起，分别带动着自己的飞轮。链条传动装置将其中一根曲轴与装有一个行星齿轮箱和差动齿轮的后驱动桥连接。行星齿轮箱给高速齿轮一个直接的驱动力，还给它一个倒转的低速挡。切向钢丝

辐轮上装有特制的邓禄普（Dunlop）充气轮胎，使用了中央转向手柄，燃料箱中有一个灯心式化油器。这辆车在1896年初首次试运行，除了表现出功率多少有点不足外，性能还是令人满意的。

此后不久，兰彻斯特设计了一台卧式对置双缸空冷发动机，功率为8马力，采用了与原来那台发动机相同的基本平衡原理，并取代了原来的发动机，装载在底盘的后部。它的进气阀由机械操纵，低压电磁机点火部件装在一个飞轮的内部。行星齿轮箱中使用了必须特制的滚珠轴承，因为这样的轴承在当时还无法在市场上买到。这种改进型行星齿轮和蜗杆传动装置连到后桥，取代了原来的链条传动系统。这辆汽车以这种改进形式于1897年再次上路行驶，结果表明它能达到每小时20英里的速度。

同时，第二辆实验性汽车被设计了出来，并于1898年初制成。这辆车也是管架结构，一个与前类似的平衡式双缸动力设备被安置在底盘的中央，仅在其前端用悬臂弹簧支承，后端则没有弹簧。这辆车在平地上的速度可达到每小时28英里，并进行了多次长途行驶，没有表现出有什么机械上的缺点。1899年，这辆车因在大不列颠和爱尔兰汽车俱乐部（Automobile Club of Great Britain and Ireland）的里士满汽车障碍检验赛（Richmond trials）中的表现而获得一枚金牌。同年末，兰彻斯特发动机公司（Lanchester Engine Company）成立。随后，一种10马力的在基本设计上与前款类似的型号在市场上推出，并赢得了相当好的商业名声。一直到1905年，才采用了一种更为常规的发动机设计。不幸的是，那辆在1895年至1896年间造的汽车，在第二次世界大战中因敌方行动而遭到彻底毁坏，但是另一辆汽车得以保存在南肯辛顿的科学博物馆里。采用双缸产品型号的汽车大约还有5辆留存到今天，其中大部分还会定期上路行驶。

已故的奥斯汀勋爵（Lord Austin）在1895年设计他的第一辆汽车的时候，正受雇于沃尔斯利羊毛剪割机公司（Wolseley Sheep Shearing

Machine Company)。他对道路运输机械产生了兴趣，并首先造了一辆三轮汽车，展示出许多大大超越其所处时代的巧妙特征。它使用了钢管车架，一台卧式平衡对置双缸发动机就安装在车架的左侧，其中的进气阀由机械操纵。它的曲轴延长，无障碍地通过单后轮的轮毂，一个飞轮被安装在车轮的对侧，那里还有一个皮带轮，一条平皮带从这里将驱动力向前传给司机座位底下的一个三速滑接变速器，一条滚子链将变速器连到后轮。它还使用了由手柄操纵的阿克曼转向机构，司机的座位被安置得很靠前，几乎超过了前车桥。采用的空冷发动机据说有 2 马力的功率。

1896 年，奥斯汀设计了第二辆三轮汽车，这一辆与前一辆几乎在所有方面都不同。它前面的单轮由一根长手柄操纵，在其双轮轻便马车式的小车厢中，司机和乘客背靠背而坐。在最初的设计中，他使用了一台双缸水冷式发动机和行星齿轮传动装置，但是他发现这种配置并不令人满意，于是很快用另一种配置来代替。新配置采用了一台卧式单缸发动机，水冷式的，但是有一个用空气冷却的汽缸盖。它还采用了皮带传动装置，提供两个前进挡位，通过两条皮带以及固定皮带轮和滑动皮带轮来实现，一条滚子链将驱动力传到一个内有一个差动齿轮和一个减速齿轮的后桥壳。每根半轴的端头各有一个正齿轮，各自驱动一个连在相应车轮上的大齿轮。这个设计丝毫不令人感兴趣的特点是采用了摆动轴式独立后悬架装置，每个后轮顶着一个螺旋弹簧的压力在一条弧线上几近垂直地进行自由运动，而不影响另一个后轮。

可以令人欣慰地记载下来的是，沃尔斯利公司的第一辆和第二辆汽车都仍然保存在这家公司的私立博物馆。那里还保存着第一辆沃尔斯利四轮汽车，这辆车于 1899 年末制成，不仅包括了前两辆汽车的特点，还具有了其他一些特点，并成为随后大约六年中所有沃尔斯利产品型号的普遍特征。这辆四轮汽车的发动机为卧式单缸，功率为

3.5 马力，装有可拆卸的汽缸盖和设计巧妙的水套。汽车前部的翅片管构成了一个有效的散热器，使用了震颤线圈点火装置和单嘴化油器，发动机与变速器之间利用平皮带传动。那个把齿轮轴安置在滚珠轴承上的三速滑接变速器，驱动着安有差速齿轮的中间轴，在中间轴的两端，链轮带动链条驱动着后轮。它采用了一种换挡导向板形式的换挡，换挡杆的横向运动选定了所希望的变速齿轮，前向运动则使整个变速器摆动，从而绷紧皮带，传送驱动力。手柄转向装置基于通常的阿克曼系统操纵着前轮。一个舒适的车厢可坐两人。与前两辆车一样，采用了充气轮胎。在大不列颠和爱尔兰汽车俱乐部于 1900 年举行的那次历史性的 1000 英里汽车障碍检验赛中，这辆于 1899 年制造的汽车表现得极其出众，赢得了许多奖项。它无疑为沃尔斯利公司后来许多成功的产品型号奠定了基础。

在美国，福特（Henry Ford，1863—1947）至少花了 6 年工夫一直在发展他关于无马马车的想法。1896 年，他制成了自己的第一辆汽车并完成行驶。这件事在这里提到，是由于它对 20 世纪初与福特这个名字相联系的大发展具有重要性。福特最初制造的这辆汽车，有时被认为是一辆四轮自行车，装有一台水冷式双缸四冲程发动机，采用了皮带传动和有手柄转向系统，还装有实心橡胶轮胎的钢丝辐轮，据说曾达到每小时 25—30 英里的速度。没过几年，福特的第二辆汽车就被制造了出来，而且行驶成功，比第一辆表现出很大的进步。福特汽车公司（Ford Motor Company）于 1903 年成立，从那时开始一直向前发展，从未回头。它的后来发展在这里无法详述，但值得提及的是，自 1908 年到 1927 年，福特 T 型汽车的制造和销售量超过了 1500 万辆。它的设计是如此令人满意，以致在那么长的时间内一直没有必要做较大的改变。这是有史以来关于单一型号汽车产量的世界纪录。

如果不提法国比扬古的雷诺兄弟（Renault brothers）特别是路易·雷诺（Louis Renault）的工作，那么这段历史将是不完整的。

1898年末，由于对自己那辆具有1.75马力的德·迪翁-布顿(De Dion-Bouton)三轮汽车的性能不满意，路易把它的空冷式发动机拆下来装到自己设计的一辆四轮汽车上。这是一辆制造得非常轻巧的汽车，采用了一种不同寻常的三速滑接变速器，并通过一个带万向节的轴将驱动力传到驱动轴的差速齿轮上，以最高速度行驶时，驱动力在发动机与后轴之间直接传送。1899年2月9日，他获得了这种方案的专利，随后便致力于向使用这个方案的其他制造者以所出售每辆汽车在零售目录价的1%收取专利使用费。由于链条传动装置的使用正在迅速地走下坡路，如果这项专利最终没有在法国和英国的法庭上被宣布为无效，它本来是会给雷诺的商行带来巨大利润的。

以这辆最初的汽车及其小型空冷发动机为开端，庞大的雷诺企业在20世纪初期得到了发展。一个标准的设计很快就被制定出来，并在许多年中基本保持不变，虽然生产出多种多样不同型号和尺寸的汽车，但所有的车子都具有一种强烈的家族相似性，都具有路易·雷诺的第一辆实验性汽车所体现的基本特征。

18.5 摩托车

1885年，戴姆勒取得了把他的高速汽油发动机应用于自行车的专利，这就为世界上第一辆摩托车的产生铺平了道路。1886年，这辆摩托车被设计和制造了出来，并进行了首次试验。虽然对于这辆车事实上是否曾在某种程度上成功地进行了行驶存在着争议，但它的设计包含着许多有趣的特点。空冷单缸发动机被竖直地安装在两个几乎具有同样尺寸的木制车轮之间，并通过一条圆皮带驱动后轮，可通过一个由一根细绳控制的张力惰轮使这条圆皮带张紧。由于这些巧妙的安排，当后轮上的制动器起作用时，传动带就会松弛下来。它使用了热管点火，还有一个专门设计的表面化油器。为了有助于支撑住非常

沉重和构造结实的发动机，在靠近驱动轮的地方装有两个小滚轮，在必要时可用脚把它们放下来，但在正常情况下它们是离地的。发动机皮带轮采用了一种摩擦驱动方式，使得在发生超负荷而可能导致发动机停止运行时会发生滑动。

435

1893年，德国的希尔德布兰德–沃尔夫米勒公司（Hilderbrand and Wolfmüller）造了一辆二轮摩托车，装有一台卧式双缸四冲程汽油发动机，后轮则由发动机通过曲轴和长连杆直接驱动，使用了充气轮胎。法国购买了这个专利权，并于1895年开始生产一种改进型的系列产品，其中引进了几个新颖的特点，包括一个像飞轮那样运作的实心金属后轮。由于两个活塞同时向同一方向运动，活塞被装上了厚实的橡胶带，橡胶带在活塞中的每个冲程都被拉长，目的是帮助活塞回程并克服死点。可以想象，这样做的结果是这种车极易颠簸，骑起来很不舒服。

同时，在德·迪翁–布顿的皮托工厂里，德·迪翁伯爵正在进行高速汽油发动机的实验。1895年，他将其中一台额定0.5马力的发动机装到一辆普通的脚踏三轮车上，并安有一个齿轮传动装置连到后桥。发动机以每分钟约1500转的速度运行，结果令人极其满意。没过多久，三轮摩托车就成了他们的主要产品。接下来，他们不断生产装有更大型发动机的各种改进型，直到1900年一种2.75马力规格成为标准为止。但是，三轮摩托车的好日子就要过去了，因为除了稳定性之外，二轮车具有其所有的优势。于是1901年以后，德·迪翁的三轮摩托车便不再生产。不过，他们没有试图转而制造二轮摩托车，除了生产极少的数量外。他们更愿意把注意力集中到生产汽车上，并在这方面很快就取得了很大的成功。电点火是所有德·迪翁汽油发动机的一个特点，这是从1895年的创始日那一天就开始的。

另一辆相比之下更像摩托车而非汽车的车辆是由法国人莱昂·博莱（Léon Bollée）发明并于1895年末取得专利的三轮车。1896

年初，他将他的第一辆实验车带到了英国，引起人们很大的兴趣。在其管式车架上，两个座位前后排列，司机坐后面那个座位。一个小小的手轮和一个齿条齿轮机构控制着两个前轮的转向，在司机左手边的一根铲柄形操纵杆有几种功能，下面即将说到。一台热管点火的大型卧式单缸空冷发动机被安装在车架的左侧，曲轴横贯车体的中部，它的延伸部分形成了三速滑接变速器的主轴。在这根轴的另一端装着一个飞轮，一条单平皮带将驱动力从变速器传到后轮的一个轮辋上。后轮在车架上被安装得能向前移动一个有限的程度，铲柄形操纵杆的前后移动将导致后轮的相应移动，这种移动结果是使传动带松开，并使皮带轮辋与固连于此轮前面车架上的一个大制动片相接触。这种装置的一个巧妙特点在于，车子的重量有助于这个操作，因为当后轮处于前位时，安在车架下的枢轴式车轮将高于中心。一个锁定设备能把操纵杆锁定在任何所期望的位置上。扭动这根铲柄形操纵杆，可从三种变速挡位中选择一种。这种车没有装倒退机构，行驶得很快，在欧洲大陆的许多比赛中获得过许多奖项，因而一直流行了好几年。

436

1896 年，霍尔登（Major Holden）发明了一种新型的四缸发动机，并将它用在一辆摩托车上。两年后，这种车被投放到市场上。它使用了一个 24 英寸的前轮和一个 20 英寸的后轮，并都配有充气轮胎，在前后轮之间的发动机构成了车架的一部分，由两根平行的钢管组成，每根钢管包含两个用一根活塞杆连在一起的活塞。一个钢制的十字杆件被连接在这两根活塞杆上，并穿过两个汽缸侧面的狭缝，其端头用枢轴连着两根长连杆，这两根长连杆则与后轮桥上的曲柄连接。这种车采用了电点火装置，在每小时 20 英里的速度下行驶得十分平稳。它被持续制造了好几年，销售情况当然很好，其后来的型号是水冷式的。

接下来，需要我们注意的是生于俄国的维尔纳兄弟（the brothers Werner）。他们在法国定居后产生了一个想法——制造一种装有小型

高速汽油发动机的普通型低座自行车。他们取得了把发动机安装在前轮上方并用皮带把驱动力传送给前轮这一设计构思的专利。1897 年，维尔纳式摩托车的制造开始了。此后不久，他们把这个专利卖给了一家英国商行，后者开始制造这种车。1900 年，一种改进型设计的专利被批准，其中发动机被安置在自那以后被认为是最合适的位置上，即两轮之间车架中央的下面，车的重心由此降低，从而极大地减小了发生侧滑的倾向。这种车于是成了一种切实可用的东西，并被大量地销售出去。虽然这个设计在大约 15 年前就被戴姆勒预想到，但他对发展这个设计什么也没做，而维尔纳兄弟正是我们应该认为的对今天我们所认识的摩托车作出主要贡献的人。

参考书目

Autocar, Vols 1, 2, and 3. 1895–1898.

Automot, *J.*, Vols 1, 2, and 3.1896–1899.

Beaumont, W. W. 'Motor Vehicles and Motors' (2 vols). Constable, London. 1900, 1906.

Bersey, W. C. 'Electrically Propelled Carriages.' London. 1898.

Bury, Viscount and Hillier, G. L. (Eds). 'Cycling.' London. 1891.

Duncan, H. O. 'The World on Wheels.' Published by the author, Paris. 1926.

Harmsworth, A. C. (Ed.). 'Motors and Motor Driving.' Longmans, Green, London. 1902.

Hasluck, P. N. 'The Automobile.' Cassell, London. 1902.

Jenkins, R. 'Motor Cars.' Fisher Unwin, London. 1902.

Karslake, K. 'Racing Voiturettes.' Motor Racing Publications, Abingdon-on-Thames. 1950.

Knight, J. H. 'Notes on Motor Carriages.' London. 1896.

Idem. 'Light Motor Cars and Voiturettes.' Iliffe, London. 1902.

Veteran Car Club Gazette, Vols 1, 2, 3, and 4. 1938–1957.

Wallis-Tayler, A. J 'Motor Cars.' London. 1897.



"供两人骑的自行车"，1869 年版。

第19章 地图绘制与航海辅助设备

D. H. 弗赖尔（D. H. FRYER）

438

19世纪下半叶是一个地图绘制活动紧张频繁的时期，新的地图和海图的出版量十分惊人。在这一领域，私人从业者的好日子实际上已经结束，全部活动都由国家测量部门领导。然而，印刷和出版各种地图的大商号继续保持兴旺，而且还有新的商号产生。

到1850年，关于陆地和海洋的测量技术已在一些严格的原则上很好地建立了起来，但是陆上测量工作几乎没有进展，而蒸汽机逐渐取代了风帆，对海上测量工作产生了明显的影响。由于陆上测量和海上测量在技术和观点方面均有差异，将它们分开来考虑是比较适宜的。

19.1 地图绘制

在英国，由于英国地形测量局（Ordnance Survey）的整个机构于1824年迁移到爱尔兰，它在三角测量和地图详细绘制方面的工作就中断了。6英寸比1英里的爱尔兰地图于1846年完成，这一年还出版了6英寸比1英里的英国地图的第一页，但整幅地图直到1891年才完成。同样，1838年就恢复了的主要三角测量项目，结束的时候已经是1852年。爱尔兰测量部的野外工作完成（1840年）后，接下来是一个很长的徘徊不前时期，并一直持续到1863年，这就是关于出版英国地图最实用比例的“地图比例之战”（The Battle of the

Scales)。爱尔兰的地图已经按6英寸比1英里的比例绘成，但先前在英国绘制的英格兰南部的地图都是按1英寸比1英里的比例绘制的。最后，人们决定除了对未开垦地区可用6英寸比1英里的比例进行测绘以外，标准的地图比例应取1/2500，大约是25英寸比1英里，而那些较小比例的地图，即6英寸和1英寸比1英里的，应该从25英寸比1英里的测绘结果缩小而来。对于大城市，地图比例的选择也有很大的争议。19世纪末期，较大的城市已按4种不同的比例进行了测绘，即1/500、1/528（正好是10英尺比1英里）、1/1056（5英尺比1英里），还有许多只取1/2500[1]。

对于测量第三个维度的方法和它在地图上的表示，争论几乎同样激烈。直到1837年，高度都是用经纬仪通过观测竖直角来确定的（三角高程测量）。然而，在地球表面上从一点到另一点的一束光线，会因大气折射而发生弯曲，沿着一条对于地球中心来说是凹的弯曲路径行进。当时，这一事实已为人们普遍知晓，甚至在1800年以前就做了一些实验以确定这种弯曲的程度。人们也认识到，如果同时在一条直线的两个端点对向地观测竖直角，其平均值即可不受地球表面折射现象所造成的误差的影响，而且可为计算当时常见气象条件下的折射系数提供数据。1833年，英国地形测量局在爱尔兰取了一条从海岸到海岸的直线进行对向竖直角的观测，这样做有双重目的，一是比较两个海岸边的潮汐高度，二是更精确地确定地球表面的折射系数。早在两年前，一条很长的水准测量路线已在希尔内斯和伦敦桥之间绵延，而从1837年到1838年在爱尔兰和英格兰进行的实验都充分表明水准测量优于三角高程测量。用平均海面取代大潮低位（出于安全的理由，用在当时的航海图上）作为一个基面（爱尔兰测量部先前已经这样做了）的可取性也得到了证明，结果是水准测量在1839年被接受为确定高度的法定方法。第二年，英格兰的一等水准测量以利物浦

1 现在（1958年）对大城市所采用的比例是1/1250（约为50.5英寸比1英里）。

附近的平均海面为基面开始了[1]。

1777年，等高线画在了英国的一张地图上。在当时的法国，它已被牢固地确立为在地图上描述高程的最好方法[2]。但是，英国地形测量局大约从1841年又重启关于各种方法功过的争论。最初的1英寸英格兰地图和6英寸爱尔兰地图标出了在一等三角测量期间用三角学方法得到的点高，还有那些在用三等三角形的边形成三角锁时，为使在三角锁中推算出的长度能缩减成它们真正的水平长度而测得的点高。对竖直角用正弦取代余弦计算，除了经纬仪测站之间的水平距离之外，还可得到它们之间的垂直距离。1844年，等高线被爱尔兰认可，1846年被引入英格兰的测量工作。虽然曾有过许多方针上的变化，但一般来说，除了50英尺的等高线之外，以100英尺垂直距离为间隔，直到1000英尺的等高线，都是用仪器测绘出来（也就是说，在地面上做好标记，然后画到地图上去），之后以250英尺为垂直间隔，直到2000英尺。

欧洲所有国家的测量部门都有着同英国地形测量局有点类似的经历。法国是先行者，它的测量机构在1800年之前就由卡西尼（Cassini de Thury）完善地建立了起来，但大多数欧洲国家直到1850年才都有了测量机构，它们采用完全相同的测量技术，并且出版了大约1英寸比1英里的地形图。然而，没有任何其他国家采用像英国地形测量局6英寸比1英里那么大的基本比例。

440

在印度，地图绘制术的发展在年代和方法上都与英国十分相似。1764年，伦内尔（James Rennell，1742—1830）对恒河的测量工作做得如此出色，以致1767年克莱夫（Clive）任命他担任孟加拉的第一任总测量师，并指示他视条件尽快画出这个省的一张地图。作为一名有实践经验的测量师，伦内尔的技术十分高超，并且善于把已有的地图

1　1921年则采用了康沃尔郡纽林附近的平均海平面。

2　已知最早的等高线由布歇（Philippe Buache）于1737年画在英吉利海峡的一张海图上。

拼接起来，因此，他在10年后就可以退休回英格兰，因为他的任务已经差不多完成了。新的总测量师提议编制一本覆盖整个印度的地图册，带着这个目的进行了许多独立的测量工作，但这些孤立的测量工作缺乏内聚力。这种情况一直持续到1800年前后，直到兰布顿（William Lambton，1756—1823）着手对整个次大陆进行三角测量才终止。这次测量具有双重目的，一是为了大地测量术而测定一段子午弧，二是提供所有地形图要依据的框架。这样，“伟大的三角法测量”（the Great Trigonometrical Survey）就开始了。这次测量与地形测量肩并肩地进行着，一丝不苟，坚持不懈，于是到了1900年，印度的地图就能令人非常赞许地与欧洲的地图相媲美。

从1807年开始，美国有组织的地图绘制循着颇为类似的路线进行。当时，杰斐逊总统（President Jefferson）得到授权，要对美国的海岸和海湾进行一次三角法测量，已于1805年移民美国的瑞士工程师哈斯勒（Ferdinand Hassler）为此提出的一份计划被采纳。由于哈斯勒去英国和法国筹办仪器，而同英国的战争（1812—1814）又爆发了，野外工作一直被拖延到1816年才开始。两年以后，由于缺乏经费，工作再次陷入停顿。一直到1832年，美国海岸与大地测量局（United States Coast and Geodetic Survey[1]）的工作才开始充满自信地开展起来。到1835年，这个机构进行了它的第一次海道测量，此后又在海上和陆上对美国海岸进行了测量。这些工作一开始是以三角测量为基础的，哈斯勒早先在瑞士的伯尔尼州就已经积累了相当丰富的经验。由于测量局的地形测量工作限制在沿海地区，美国大多数州在19世纪初期绘制了自己的地图，但是在1830年以前，这些地图都不是在三角测量的基础上绘制的。此外，还有许多军事方面的测量。1867年到1872年期间，为了对这块大陆进行勘察和地图绘制，共成立了四个不同的地质测量和地理测量机构，但到1879年，它们全部被合并

1　一开始称为海岸测量局（Coast Survey），1878年采用现称。

到美国地质调查局（United States Geological Survey），从那以后，这个部门就一直负责美国地形图和地质图的绘制。

非洲、亚洲和澳洲的地图绘制按照人们可以预料到的模式进行。一条由早期航海探险者极为出色地准确勾画出来的海岸线，一块用旅行者们多少有点准确性的叙述逐渐填满的内陆地区，后来再加进一些更加详细的草图式测绘情况，最终在19世纪后半叶用上了三角测量的结果。吉尔爵士（Sir David Gill）在被派往好望角天文台工作的1879年，就南非的准确勘测和地图绘制工作制订了一项详细的综合性计划。除了对近海岸地区已经画了精确的海图之外，自1852年“伯肯黑德号”（*Birkenhead*）海难事件以来，当时仅有的地图就是一些依据农场测量结果做出的汇编图和一张在1818—1825年绘制的军用草图。吉尔指出了这样一种做法在科学上的有利之处——对南非进行一次精确的三角测量，并以此作为沿着30度经线的一个三角锁的起始，最终会把好望角和地中海连接起来（边码442）。这项南非的大地三角测量工作于1905年结束，不过，因为战争和其他一些障碍，一直到20世纪才着手进行地形测量。

到1850年，以大地测量和地形测量为目的的陆地测量的一般技术已完善地建立了起来，在一个由三角测量所得的精确框架内，用平板仪测图法、细致的导线测量或者三角锁测量把地形细节充实进去。对于像不列颠群岛诸国这样使用一个大比例作为测量基本比例的国家来说，三角锁测量是十分合适的。测量地形细节的方法各国有很大的差异，而且随着新仪器的发明和发展，在方法上也有不少改进。

19.2 大地测量和世界地图

现代大地测量从1615年斯涅耳（Willebrord Snell）对阿尔克马尔和贝亨奥普佐姆之间（大约）1个纬度的地区做三角测量开始，接下来是半个世纪后皮卡尔（Jean Picard）在法国进行的测量（第Ⅲ卷，边

码 544）。牛顿（Newton）关于地球的形状像一个扁球体的说法，被 18 世纪的大地测量所证实。1850 年以前，许多国家测量了一些长子午弧和一些与纬线大致平行的弧，测量结果逐渐被用来计算“地球的各种形状”。这些形状通常是用赤道半径（地球的长半轴）a 和地球扁率 $c=(a-b)/a$ 来表述的，此处 b 是地球的短半轴。在这些表述形状的数据中，最著名的或许是德朗布尔（Delambre）于 1806 年得到的那些数据（$c=1/334$），由此导出了“米”的长度（90 度子午弧长度的百万分之一）。此外，艾里（George Airy，皇家天文学家）于 1830 年得到的那些数据（$c=1/299.3$），已在英国进行三角测量的计算时用到；埃弗里斯特（George Everest，完成了穿过印度的兰布顿子午弧的测定工作）同样于 1830 年得到的那些数据（$c=1/300.8$），已用于印度的测量工作；贝塞尔（Bessel）于 1841 年得到的那些数据（$c=1/299.2$），给出的地球形状是绘制许多大陆地图的基础。

442

当要把不同国家进行的弧度测量结果结合起来时，极其重要的是应当知道各国长度标准之间的关系。克拉克（A. R. Clarke，1828—1914）花了 4 年多时间，把英国的计量标准与俄罗斯、普鲁士、比利时、西班牙、奥地利以及（后来）美国的标准进行了比较。1866 年，他发表了自己的研究结果，从中得出的地球形状（$c=1/295$）已用于绘制美国和加拿大的地图。

欧洲的标准以古老的“秘鲁突阿斯”（toise of Peru）为基础，这个标准用于芬兰和秘鲁的传统的弧度测量（第Ⅲ卷，边码 553），而最遗憾的是法国没能向克拉克送去一个“米”的标准长度让他进行比较。克拉克不知道，当时法国存在着“米”的两个标准长度，一个是法定的“米”，由法律定义为“一突阿斯”的一个分数值：443.296/864；另一个是法国科学院档案馆的“米”（metre of the Archives），那是一个用不纯的铂制成的相当差劲的原器。这两种“米”给大地测量学家带来了无穷的麻烦，而且即使在成立于 1875 年（一次国际性会议

之后)的“国际度量衡局”(Bureau International des Poids et Mesures)制作了并不完美的档案馆米原器的一个复制品作为“国际米”(International Metre),打算用于以后所有的大地测量工作之后,情况也没有得到改善。

对30度经线上子午弧的测量,是19世纪后期进行的最重要的大地测量工作之一。其目的是连续测量从好望角到开罗的那一段子午弧。到1905年,这条弧南端通过南非部分的测量(边码441)已经完成,但是它在埃及境内的北端的测量一直到1907年才开始。这项雄心勃勃计划的野外工作最终在1954年完成,通过跨越地中海的连接,现在有了一条完整的从南纬34°的好望角测量到北纬71°的北角的子午弧。

通过测量一个摆的摆动周期来指示地球的形状,对其意义的认识要追溯到里歇尔(Richer),他于1672年观察到,在靠近赤道的地方,必须把钟的钟摆长度缩短,才能让钟保持准确的时间。根据里歇尔的观察结果,惠更斯(Huygens)推断出地球可能在两极呈扁平,尽管他的理由是错误的。一位名叫萨维奇(Sawitch)的俄罗斯科学家于19世纪测定了摆的摆动周期,并根据在12个测站的观测结果,计算出地球的扁率是1:309。[1924年为国际所公认的数据是1:297,这是海福德(J. F. Hayford)于1910年测定的。]

443

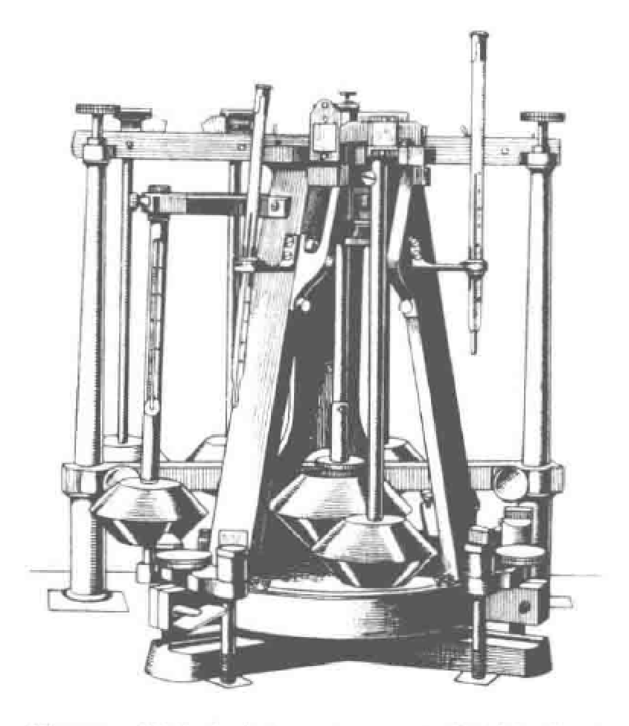


图229 斯特内克(von Sterneck)的测摆装置,约1900年。使用时,为避免气流影响,这个装置要被包封起来。摆动情况由摆顶处一面镜子所反射的光线记录下来。

人们很早已发现在大山体附近测锤会偏离它的正常位置。通过比较由天文观测得到的经

纬度（也就是说，涉及当地的重力方向）和（在选定的参考椭球面上）由从原点开始的三角测量计算出的大地经纬度，可以估算出来在任何点的偏离程度。在这里，假定天文经纬度和大地经纬度是相同的。由于水平面垂直于重力方向，如果这种比较的次数足够多，就有可能推断出地球上重力等位面（即一个假想的海洋的表面，它以现今的海水面延伸到陆地的下面，覆盖着整个世界）的形状。这个不规则的表面即大地水准面，是由这个面上各点在计算中使用的那个参考椭球面上的高度来定义的。通过测定一个标准摆的摆动周期来测量重力的相对强度，也能提供确定大地水准面形状的数据，只要观测是在数量足够多的有关点处进行。

到 1850 年，印度有了可靠的三角测量，而且印度北部边界有着世界上最高的陆块，将垂线偏差作为早期研究的主题或许是很自然的事。1854 年，加尔各答的一位副主教普拉特（J. H. Pratt）[1] 计算出，由喜马拉雅山脉引起的垂线偏差不像其可见质量所能造成的那么大，在他看来那种预期的效果好像被某种潜在的密度上的不足抵消了。艾里爵士假设了另一种飘浮理论，即约有 40 英里厚的地壳飘浮在一种液体上，而可见的山体质量被相应的伸入液体内的一些凸出物平衡掉。在许多自那以后提出的解释这种“平衡”或“抵消”的理论中，最有名的或许是由美国大地测量学家海福德根据普拉特的说法于 20 世纪初期发展起来的“地壳均衡”假说。从 1865 年到 1872 年，巴塞维（Basevi）和亥维赛（Heaviside）在印度对摆进行了一系列非常全面的观测。图示的仪器（图 229）是一种比他们所用的更新型的仪器。同样的工作在许多国家继续进行，而且自 1920 年以来，通过在船上主要是潜艇上所进行的观测，这种工作得到了很大的改进。

444

19.3 陆地测量仪器

综观整个19世纪紧张频繁的测量活动，令人相当意外的是，在经纬仪和水准仪两种基本的测量仪器上，改进少而又少。

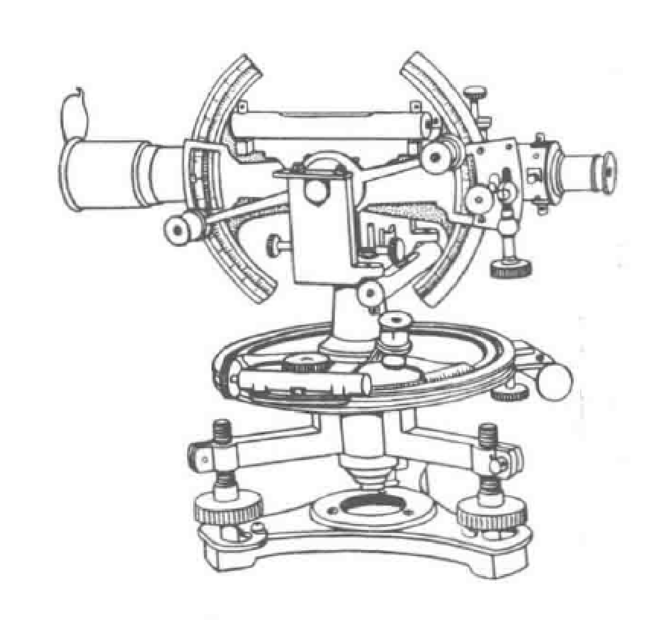


图230 “埃弗里斯特”经纬仪，曾在印度的测量工作中使用，由乔治·埃弗里斯特爵士发明。约1840年。

从1787年到1853年，英国地形测量局用拉姆斯登（Jesse Ramsden）制造的3英尺经纬仪（第Ⅳ卷，边码604）做了许多很好的工作，但是这种庞大的仪器被制造得很少。用现代的标准来看，所有这些用来进行精密测量的仪器都是巨大而笨重的，普遍使用10英寸或12英寸的水平度盘。望远镜千篇一律是外调焦，而且在许多经纬仪中，它们不能绕水平轴完整地转动一圈，允许这样转动的经纬仪被称为转镜经纬仪。望远镜光阑通常布有蜘蛛丝网线，以给出准直线，直到19世纪末期，才引进了刻有十字“丝”的玻璃标线片。最为常见的是用4个底座螺丝来调平经纬仪，但“埃弗里斯特”经纬仪（在印度的测量工作中大量用到）只有3个底座螺丝（图230）。通常用游标尺在度盘上精确读数，但较大的经纬仪则常用测微器读数，精度达1角秒。

在格拉瓦特（W. Gravatt）发明“定镜”（Dumpy）水准仪（大约1848年）之前，通常用的水准仪是Y型水准仪，这是一种配有20英寸或更长望远镜的笨重仪器。格拉瓦特引进的革新之处是：（1）长度约为12英寸的望远镜，配有一个大孔径、短焦距的物镜和一个高放大倍率的目镜；（2）在与主水准器垂直的方向上，有一个小的横向水准器，这大大地方便了仪器的调定；（3）在水准气泡的端部安有一面小镜子，使得观测者不用离开观测位置就能检验仪器的调定情况。奇怪的是，

445

最后一项十分可取的革新仅仅出现在原型仪器上，在后来的“改进”型上却被抛弃了。在Y型水准仪中，望远镜能在Y形支架上绕轴旋转180°，这样，当准直线有误差时，就能方便地进行调整或定出修正量。这一特点被认为对精密测量工作十分重要，后来在斯坦利（W. F. Stanley）的“改进型定镜水准仪”中得到了采用。

坡度仪——实际上就是在目镜下装一个有刻度的倾斜微调螺丝的水准仪——在19世纪结束前已出现在市场上。奇怪的是，这种装置（虽然带有比较小的观测仪器）直到20世纪都没有被当作仪器而产生出现代的“微倾水准仪”来。

19.4　光学：视距、距离测量

视距原理，即$S=\frac{D}{2}\cot\frac{\alpha}{2}$（图231），可以通过多种方式应用于仪器。在有些情况下，让角α固定不变，这样从一根有刻度的标尺上读出的距离D就是可变的；在另一些情况下，让距离D固定不变，用仪器测量出的角α或它的正切就是可变的。

虽然加斯科因（W. Gascoigne）于1639年就在一台望远镜里装了一个带有可移动细丝的光阑，但第一台进行视距测量的测量仪器看来是布兰德（Brander）于1764年在奥格斯堡所用的那一台。据说，瓦特（James Watt）制造过一台这样的仪器，并曾于1777年在苏格兰用过。另一位先行者是格林（W. Green），这位光学仪器商于1778年在一台经纬仪望远镜目镜的焦点处安装了一个测微器，他设计了两种类型的测微器，一种是按固定间隔刻画一些标线，另一种是设置一根固定的标线和一根可调的标线，由此即可按需要来设置那个“固定”角α（图231）。他的书描述了这种仪器及其使用方法，这就是今天为人们所称的视距测量法。这种测量方法在英国国内从来没有像

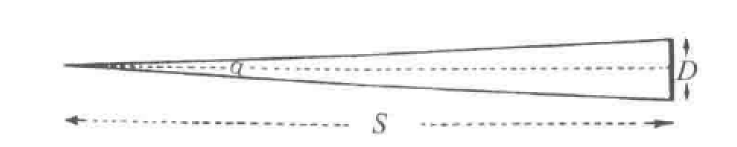


图231　视距测量。

在国外那么流行。1866 年，埃奇沃思（D. R. Edgeworth）为他的“测距仪”（stadiometer）取得了专利，这是一台多少有点像经纬仪的仪器，在望远镜光阑上置有两根细丝，“从一根细丝到另一根细丝之间的距离为物镜焦距的百分之一……这两根细丝可以根据对一杆位于已知距离的标尺的观测，用螺丝进行调节”。不论是格林还是埃奇沃思，都没有意识到其中涉及的光学问题，但是这些问题在欧洲大陆已为人们所知。早在 1823 年，米兰的波罗（J. Porro）已经把光学测距望远镜用到一种被称作视距仪（tachymeter）的仪器上。简单地说，就是在经纬仪中插入一块附加透镜或者称“光学测距”透镜，这样得到的视距将是从标尺到仪器的竖直轴，而不是从标尺到这根轴前面且与此轴距离为 $f + c$（这个距离是可变的，大约在 18 英寸以内）的一点（图 232）。

446

埃奇沃思还提醒人们说，当在陡峻的地方进行测量时，也就是说，当仪器观测标尺的仰角或俯角超过 15°（！）时，必须放弃常规的测量步骤，标尺应垂直于视线，之后必须采用常规的斜坡修正。

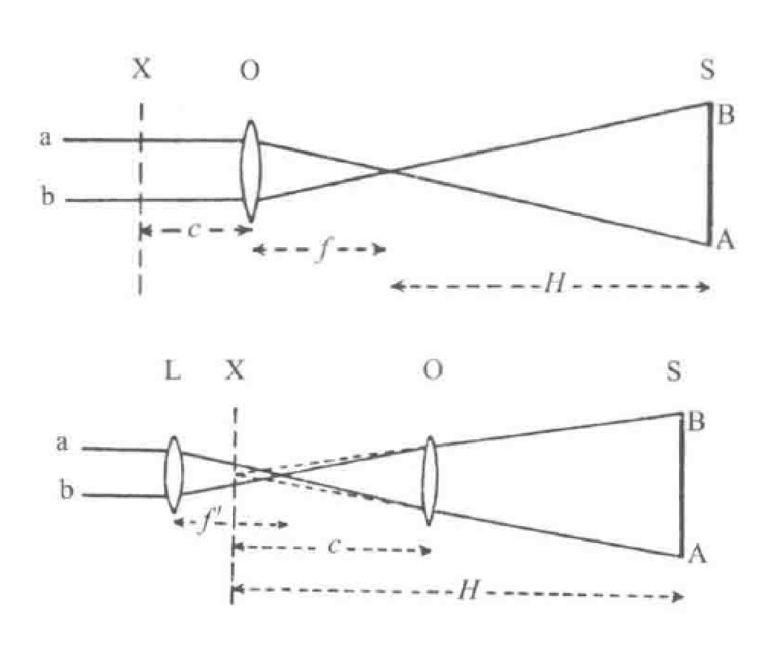


图 232　用视距仪进行视距测量。（1）采用普通的外调焦望远镜；（2）采用光学测距透镜。X= 经纬仪的竖直轴；O= 焦距为 f 的物镜；a，b= 视距丝；S= 远端目标处的标尺；L= 焦距为 f' 的光学测距透镜；c= X 到 O 的距离；H= 测量的水平距离；LO= $f'+\frac{fc}{f+c}$。

通过公式 $OV=\frac{AB}{\tan\theta-\tan\phi}$（图 233）来求水平距离 OV 时，可采用视距测量的正切法。这一关系式被德国工程师埃克霍尔德（C. Eckhold）用在他的“全向经纬仪”（omnimeter）（1859 年获得英国专利权）中。在图 233 中，AV 和 ZH 都垂直于水平线 OV，而且可以看出 $\frac{OV}{OH}=\frac{AB}{XY}$，或者说 $OV=\frac{OH\times AB}{XY}$。全向经纬仪有点像普通的经纬仪，有一个水平分度弧和几个用于调平的底脚螺丝，但是没有竖直分度弧，有一根柄 OH 作为替代，垂直于仪器的竖直轴，平行于望远镜的旋转平面。一台灵敏的水准器连于柄杆，使它能精确地处于水平位置。ZH 是一根有精细刻度的标尺，垂直于 OH，其刻度值靠一台固连于主望远镜的显微镜读出，它们的准直线是平行的。AB 是一根带有两个瞄准标记 A 和 B 的标杆，被竖直地立在要观测的目标上。使用时，仪器对着 B，并把那根柄调成水平，然后用望远镜轮流瞄准 A 和 B，从标尺上读出 X 和 Y。一台附加的测微装置能使这些读数的精度达到 0.002 毫米。在最早的原型中，AB 是 3 米，OH 是 20 厘米，因此，水平距离 OV 可用公式 $\frac{600}{(XH-YH)\text{毫米}}$ 求得，单位是米。这种仪器获得了很好的效果，并以一种改进型留存到 19 世纪末期。不过可以看出，读数 XH 和 YH 只是 θ 和 ϕ 的正切函数，在用一台普通经纬仪进行竖直角观测后，同样能很方便地从正切函数表上查到。

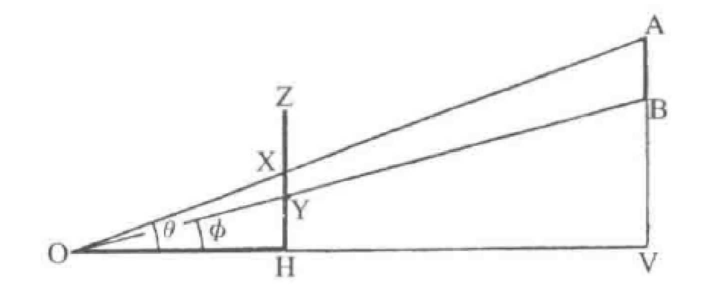


图 233　说明“全向经纬仪”视距测量正切法的示意图。

19.5　基线测量设备

1791 年，威廉斯（Williams）上校用拉姆斯登制造的一种特殊的

测链，重新测量了罗伊（Roy）将军在豪恩斯洛荒地（Hounslow Heath）的基线。到1806年，同样的测链已经测量了5条检验基线。然而，19世纪的大地测量学专家通常更喜欢用刚性的杆来测量基线。木制杆和玻璃杆为金属杆所代替，而所有的发明技巧全都集中在进行测量时如何精确地确定设备的温度从而确定它的准确长度。

1880年，斯德哥尔摩的耶德林（Jäderin）通过在三脚支架之间悬挂钢带尺的方法，对以前的做法进行了革命性的改造。他利用了这样一个事实，一根张在两个三脚支架之间的受到恒定拉力的金属线总是具有相同的悬链线形状，因此如果其他条件不变，那么支架之间的距离将是一个确定值[1]。通过这种方法，只需进行最少量的清除障碍工作，就可以对不平坦的场所进行不失精确性的测量。把一些三脚支架按设定的间隔沿基线排成一行，每个支架的测量头子上刻有基准标记，基准标记之间的弦长就用处于一恒定拉力之下的带状尺或线状尺测出，这个恒定的拉力则由重物或弹簧测力计维持。为了克服线状尺在其确切温度和长度上的不稳定性，采用了两根线状尺，一根用黄铜制成，另一根用钢制成，这样的双重测量就像双金属温度计那样，使全长得到校正。

448

这项发明具有革命性，而国际度量衡局的伯努瓦（Benoît）、纪尧姆（Guillaume）和霍普金斯（Hopkins）的研究使它的价值翻了一番。1896年，他们发现了一种铁和镍（36%）的合金［他们称之为因瓦（invar）］具有极小的膨胀系数（小于每华氏度0.0000005）。自那以后，所有现代大地测量中的基线都用被支撑成悬链线的因瓦带状尺或线状尺来测量。

1 $D = L\left(1-\frac{W^2}{24F^2}\cos^2\theta\right)$，其中$L$是带状尺未被支架撑起来时的长度，$W$是其重量，$F$是作用于这根金属尺两端的拉力（其单位与重量一样），θ是支架之间斜面的倾角。

19.6 电报与摄影术

19世纪的另两项发明，尽管它们的基本重要性是出于其他的原因，但对测量技术也有巨大的影响。通过不但遍布大陆而且跨越海洋的电缆网络，电报(1837年)覆盖了全世界。虽然现在由于有了无线电，有线电报已经过时，但它还是极大地改进了大地测量中所有经度测定的可靠性。通过电报，基准地点(最好是格林尼治天文台)的时间几乎可以在瞬间传递到观测地点，而在以前，这必须用一台精密计时器进行实物传递，但从起始地点出发，经过长途跋涉，这台计时器的准确度可能会大为降低。

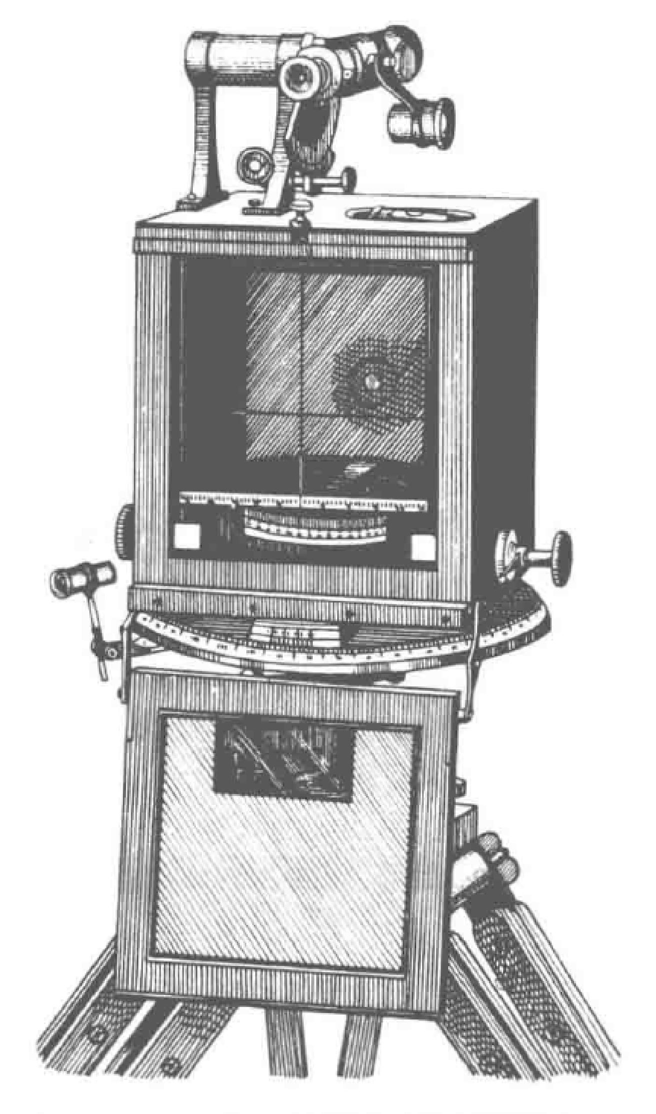


图234 布里奇斯·李摄影经纬仪(后视图)。

摄影术发明后不久即用于测量。法国陆军的洛斯达(Laussedat)从1851年起进行试验，并于1861年完成了对凡尔赛附近一个小村庄的摄影测量。这种测量方法类似于平板仪测量和现场绘制略图。交会法和后方交会法这些原本在野外采用的标准的平板仪方法，现在在绘图室里用于各测站所拍的照片，并用在每个拍摄地点由经纬仪测量出的少数几个角度进行补充。或者，也可以使用一台组合而成的摄影经纬仪。图234显示了一台由李(J. Bridges Lee)于1895年发明的开创性机型。在这个模型机中，罗经刻度盘上的恰当部位和一个角度标尺，以及照相机光轴的左侧和右侧，都显示在了每张照片上。1888年之后，人们用这些方法对落基

山脉进行了大面积的测量。不久，瑞士、德国和俄国的测量工作者也进行了相当数量的摄影测量。在当代，这种方法的主要令人感兴趣之处在于为现代空中测量技术铺平了道路。事实上，在19世纪后半叶，人们从系留气球上进行了摄影测量，最早就是由洛斯达本人进行的（1858年）。

19.7 海图与海道测量

19世纪海外贸易的扩大，以及19世纪后半叶船体尺寸的增大，产生了对更多更好的海图的需求。在很多情况中，大地测量技术的改进提供了一种把地图和海图联系起来的可靠手段，不过直到19世纪末期，在大多数地区，海洋测量工作者总是在陆地测量工作者之前很久就登场了。

英国海军部的海道测量部 虽然18世纪中叶法国已确立了有组织的海道测量工作，但直到1795年英国海军部才确定要求指挥官提供他们自己的海图并不是保障海军船只安全的最好方法。达尔林普尔（Alexander Dalrymple）被任命为海军部的海道测量专家，“他的责任是，收集和汇编为改进航行和皇家舰船司令员们的指挥所需要的全部资料”。最初，这就是这个新建立的办公室所做的全部工作，直到1801年它才［对“信任号”（*Reliance*）上的弗林德斯（Matthew Flinders）］就所进行的海道测量发布命令。自1808年赫德（Thomas Hurd）接替了达尔林普尔以后，海军海道测量专家的职位总是由一位专长于测量的海军军官来担任。在赫德的任期内，测量兵种可以说是诞生了。1814年，两艘测量船第一次出现在海军军官花名册上。到1823年赫德去世时，已有12艘船用于测量工作。赫德最后的行政行为之一，就是让海军部的海图对商业船队和公众开放，而不像过去那样限定它们只能为皇家海军舰队所用。

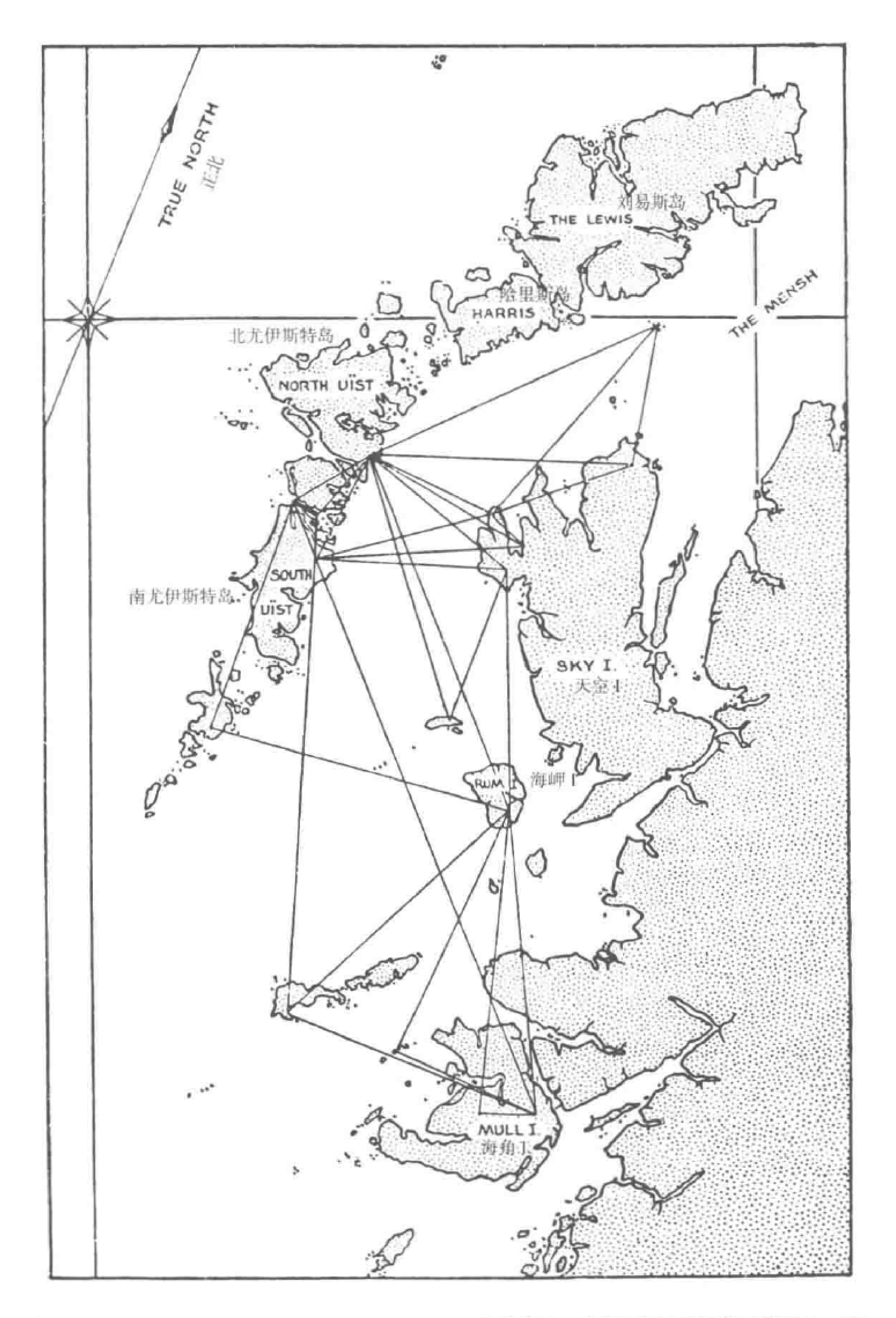


图 235　由老麦肯齐 [Murdoch Mackenzie (senior)] 绘制的西部海岸和西部群岛海图的一部分，1775 年出版，其中显示了他连接内、外赫布里底群岛的三角测量。

到1850年，由蒲福[1]精心组织起来的海道测量部已能妥善处理从测量船大量涌来的新资料，同时也能整理和发布海军部多年积累下来的大量数据，包括由光荣东印度公司（Honourable East India Company）得到的有价值的测量结果。这种数据的积累和19世纪下半叶海道测量部工作的开展，可由海军部海图的年度目录册显示出来。1849年的目录册中列有1748张航海图，到1900年时已有3413张了。

450

451

海道测量 一个海港或一个近海区域的海道测量控制网与陆地测量控制网非常相似，通常是从一条已测量的基线出发，用三角测量法建立起来。如果是一个封闭式海湾，测量区域能被一些三角测量站包围起来，那么这种相似性是完全的。但更为常见的是，海道测量会沿着一段相当直的海岸线扩展开来。在这种情况下，控制网将起始于一条沿海的三角锁，它必然地被限制在测量路线的一侧，不过可以通过锚泊的船只或信号浮标把三角测量向海上扩展（图235、图236、图237）。在陆地上进行角度测量的经纬仪，不能在海上使用，所以船上或小艇上是用六分仪观测角度的。

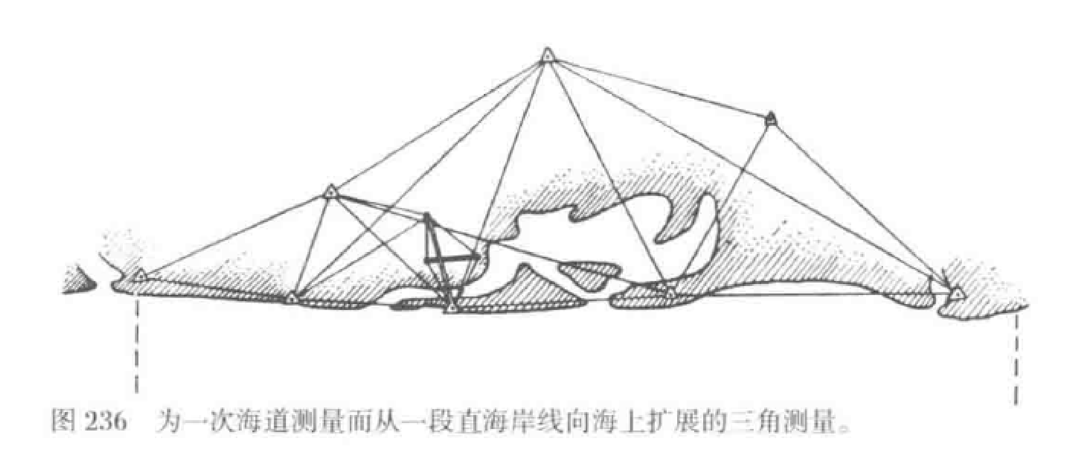


图236　为一次海道测量而从一段直海岸线向海上扩展的三角测量。

在深入内陆进行测量不方便或不可能的情况下，那条海岸三角锁可以利用船作为一种不访问的三角测量站而沿海岸线延伸。由于这种测站漂浮不定，岸上的观测必须在瞬间进行，而且通常由该船发出一个信号来进行协调。对于主三角测量来说，没有一个角度是从船上

1　蒲福爵士（Sir Francis Beaufort），海军少将，皇家学会会员，1829—1855年任海军部海道测量专家。

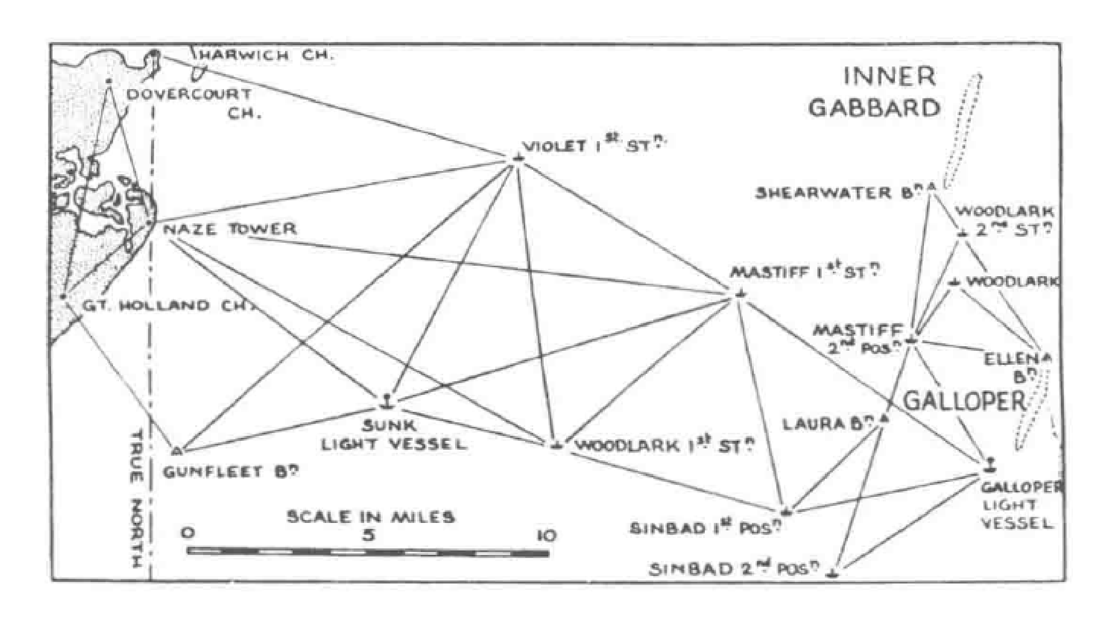


图 237 皇家海军的托马斯（George Thomas）于 1840 年为确定盖洛珀浅滩（Galloper Shoal）的位置而进行的海上三角测量。

452

观测的，但是辅助测站的角度可以在锚泊于三角测量所要求位置的船上通过六分仪用交会法测定（图 238）。

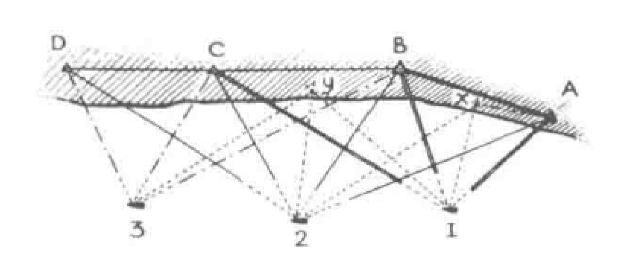


图 238 无法进入内陆时用船进行的三角测量。（A）（B）已知的测站；（C）（D）新的测站；（1）（2）（3）船依次停泊的位置；（x）（y）从船上用交会法定位的辅助测站。

无论什么时候，确定这些三角测量比例的长度依据，或者采用在岸上用正统方法测定的一条基线，或者采用当地陆上测得的一条基线，如果那被证明是可行的话。不过，这些长度依据经常在海上用各种方法测得[2]：（1）用视距法，一艘船锚泊在基线的一端，从位于基线另一端的小艇上测量那艘船的桅杆所对的角度；（2）靠声响，在基线的一端测量在另一端开火的一支枪传来的闪光与声响间的时间间隔；（3）用测程仪，测量两个海上位置之间的距离；（4）靠计算，确定两个经天文观测的位置之间的距离。方法（1）和（2）势必是测量那些在必要时能用基线延伸三角测量予以延伸的短基线，方法（3）和（4）最好是用来测量长基线，如果可能的话，是测量区域的极

端点之间的长基线。方法（3）和（4）经常被结合起来为“移动”测量（“running” survey）提供比例，早期的航海者和探险者正是用这种“移动”测量勾画出了海岸线。

上面概述的各种控制方式在蒲福任海军部海道测量专家的时候被标准化，而且到1850年的时候已被人们普遍遵循，但是在19世纪的早期，其在实际做法上有了不少变化。图235来自1753年的一次测量，当时大多数海图都是由“移动”测量绘制出来的。

在离开控制网这个主题之前，应当重申一下，那就是直到19世纪末期，海道测量常常领先于陆地测量。即使有时情况不是这样，也因为陆地测量的控制点常常相隔太远，对海道测量人员用处不大。然而，也有一些陆地和海上测量人员之间紧密合作的事例，例如1817年“调查者号”（*Investigator*）的托马斯和英国地形测量局的科尔比（Colby）之间在设得兰群岛的合作。

在当时，水深用测深锤和测绳测得，一个重10—14磅的测深锤系在一根以英寻（在19世纪末是英尺）为刻度单位的大麻纤维测绳上。每投一次测深锤，就给出一个从水面到海底的直接测量结果，

453

不过所提供的准确信息只是关于测深锤所覆盖的面积（大约4平方英寸），漏过暗礁尖顶的概率总是很大。要避免这种错失，只有依靠密集的水深测量和警惕地观察水面上任何可能由靠近水面的暗礁或浅滩造成的迹象。这些对航海造成危险的因素，能逃脱早期测量人员注意的是如此之少，这一事实真是令人赞叹，特别是在当时世界上还有如此多的地方没有绘制出海图的情况下。因此，沿海测量中存在着数量变得比质量更重要的倾向。后来在1877年，海道测量专家埃文斯爵士（Sir Frederick Evans）指出：“水深测量的重要性还没有被年轻的测量人员充分地考虑到。他们应当认识到，这是对一张海图的真正考验”，[3]一位优秀的测深员从移动中的船上能够测得的最大深度大约是10英寻，若要测得更大的深度，船必须在每次投测深锤

时停下来。后来在蒸汽机轮船上，能用绞车“举起”一个沉重的测深锤，测得的深度增加到大约 40 英寻，而且不用停船。

测深锤的底部常有一个凹坑，里面能填入一块油脂，它能把海床的一个样本带到水面上来。海底的特征总是要显示在海图上，因为它能帮助海员在雾中确定自己的位置，或者选择一个抓锚特性较好的地方抛锚。

从 19 世纪初期开始，用于水深测量的基准是平均大潮低潮的深度，这是保证海员在任何潮汐条件下，在任何位置都不会（或几乎不会）遇到水深小于海图所标情况的一项安全预防措施。

在 19 世纪后半叶，人们对大洋的深度抱有极大的兴趣，这既是为了铺设跨洋的电报电缆，也是为了科学研究的目的。在进行深海水深测量时遇到了许多困难，其中最大的困难是回收那个必须要用的沉重的测深锤。1854 年，美国海军的布鲁克（Brooke）上尉发明了一种装置，其中的“测深锤”是一根带有重块的轻管子，当它撞到海底时，就自动释放重块[4]。其他类似的装置也被设计了出来，贝利（Baillie）的“沉杆”（rod and sinker）是皇家海军最终采用的一种测深设备（图 243）[5]。另一个困难来自突然作用在测绳上的拉力，这是由船在海上的起伏颠簸造成的。引导水深测绳穿过一个用弹性带固定在帆桁端或起重吊杆上的滑轮，就可以使这种拉力减到最小[6]。

这些深海水深测量都用大麻纤维测绳进行，但是到 1872 年，汤姆森［William Thomson，后来的开尔文勋爵（Lord Kelvin）］对一种使用钢琴弦线的测深机进行了试验（边码 461），并对此十分热心。不过，英国海军部一开始对此并不相信，“挑战者号”（*Challenger*）在 1872 年末进行它那著名的海洋学研究航行时，仍用大麻纤维测绳进行了全部的深海水深测量工作[4]。然而，到 19 世纪末期，所有的深海水深测量就都用钢琴弦测深机进行了（边码 461）。

454

一直到约 1860 年为止，所有的海道测量实际上都是在帆船上进

行。可以这么说，19 世纪后半期在这一技术方面的几乎唯一的革新，就是让蒸汽为测量工作者服务。虽然蒸汽推进方式极大地促进了这项工作，但几乎没有给这项技术带来什么变化。甚至在 19 世纪末期，大多数英国测量船仍旧装有船帆，把它作为一种辅助装备。

海洋地图是海道测量工作者最重要的劳动产品，但它并不是唯一的产品。观测海水在竖直方向和水平方向的运动，既为英国海军部的潮汐表（从 1830 年开始定期出版）提供了数据，也为各种海洋潮流图提供了数据。对一张海图来说，航海指南是一种必要的补充资料，它给海员以有用的信息，而这些信息是不能马上从海图上收集到的。

从 1895 年开始，海道测量部在每年出版的《海军部信号灯一览表》（*Admiralty List of Lights*）中提供全世界所有灯塔的详情。另外，无论是新发现了一处没有在海图上标出的暗礁，还是一个灯塔的信号灯特征发生了改变，关于海道的新信息会立刻公布在《航行通告》（*Notices to Mariners*）上，它的定期发行始于 1857 年。

这里对海道测量的简短叙述可能看起来有点片面，但是在写 19 世纪历史的时候，这样的有所侧重无可非议。除了美国、法国和法兰西帝国时期的沿海区域外，七个大洋中几乎没有什么地方不被英国海员［包括“光荣东印度公司”，即后来的“皇家印度海军”（Royal Indian Navy）的那些海员］绘入海图。从创建开始海道测量部一直在尽力提供着全世界的各种海图。

19.8 其他的航海辅助设备

虽然海图和其他一些水文地理出版物是绝对必要的，但某些航海辅助设备同样至关重要。它们可以分成两类：（1）船上携带的设备，例如罗盘、六分仪、精密计时器、测程仪和测深索；（2）为了有益于海员而建在岸上或者离岸建立的设备，例如灯塔、浮标、导航标和报

时信号。

罗盘 在进入18世纪后的很长一段时间里，人们看来还是较少想到要改进这种基本的辅助设备。当时，奈特(Gowin Knight，1713—1772)发现了能使罗盘针和其他磁铁的磁通量增加的方法(第Ⅲ卷，边码523—524、边码555)。然而，由于他没有认识到罗盘方位盘和罗盘指针关于所有直径的惯性矩应该都相等的重要性，经他改进后的罗盘同当时的其他罗盘一样，在坏天气下十分不稳定。

455

长期以来，人们并不了解一艘船上的铁制品对罗盘影响的严重程度，据说甚至库克船长(Captain Cook)也曾把铁钥匙存放在罗经柜(binnacle)里。一直到19世纪初期，弗林德斯(边码449)才对罗盘的这种“偏差”进行了第一次科学研究。他发现了船上软铁材料的这种效应以及进行校正的方法，针对船体磁性的校正器至今还被称作“费林德斯棒”。有关的研究继续进行着，而英国海军部在1837年任命了一个委员会去为皇家海军深入调查有关罗盘的全部问题。委员会强调了把罗盘放在这样一个位置上的重要性——在这个位置上，由船体磁性所导致的误差为最小。那个年代在造船中所用的铁材料相对来说比较少，这种合适的位置很容易找到。委员会进一步建议，不应当(用校正磁铁)校正罗盘，但是应当在航行途中非常频繁地确定出罗盘误差，并在画出方位和航向时按通常方法把这些误差考虑进去。委员会还设计了一种罗盘，为皇家海军和其他几个国家的海军部门作为方位罗盘使用，观测地球目标或天体目标的方位，为船舶导航(相对于驾驶船舶而言)。从那时起，这样的一种罗盘被称为*标准罗盘*。最早的标准罗盘有一个纸质的方位盘，直径为7.5英寸，用云母片使之硬挺，上面装有4根平行的用矩形层叠钢片制成的罗盘指针，这样处理是为了使其在东西向平面内的惯性矩等于在南北向平面内的惯性矩。这个方位盘被放在一个厚壁铜盆里。

直到1820年左右，方位罗盘才被装上一个三脚架，需要时可以

在船上各处移动。后来，又把它装在一根木制或黄铜制的固定支柱上，这样就保留了罗经柜这个最初用来指放罗盘的小橱的名称（源自葡萄牙语 *bitacola*，意为“小隐蔽处”）。

英国海军部的标准罗盘虽然一度在皇家海军中取得成功，但在商船上并不完全令人满意，因为商船可能在这一次航行中载送一批磁性很强的货物，下一次却是一批没有磁性的货物，所以需要一种能够调整的罗盘。1855 年，为了研究商船的磁性状况和罗盘误差，成立了由船主和科学家组成的利物浦罗盘委员会。到 1862 年，这个委员会向英国贸易委员会递交了三份报告，其中最重要的建议之一就是，对英国商船的所有指挥官和领航员来说，掌握一套完整的关于磁性和罗盘校正的实用知识应该是责无旁贷的。

456

现代罗盘始于 1876 年，当时，汤姆森爵士为他的干方位盘罗盘取得了专利权，这种罗盘把他本人的发现结合以前研究者的成果用一种实用的方法体现了出来（图版 31C）。首先值得称道的是，其中采用的罗盘指针和方位盘比以前人们认为的必要重量要轻得多。汤姆森用了 8 根轻质罗盘指针，把它们有点像一副绳梯的横档那样系在一些丝线上，这些丝线从一个枢轴——一个有着蓝宝石顶冠的倒置小铝杯——出发，呈辐射状地连到一个直径为 10 英寸的轻铝环。类似的丝线同样支撑着用扇形纸片组成的罗盘方位盘，整个方位盘仅重 180 格令（不妨与海军部标准罗盘的 1525 格令比较一下），可在一个焊在一根细黄铜丝顶端的细小铱尖上转动，这根细铜丝则固定在罗盘盆的底部。尽管这种新罗盘很优秀，但是最富革命性和先进性的是支撑它的罗经柜。这个罗经柜为校正磁铁、软铁球和弗林德斯棒备下了地方，这些都是抵消船的磁性效应所必需的设备。汤姆森的罗盘很快就被皇家海军和较大的商船采用，而且令人非常满意。当船速增加导致相当大的摇晃从而严重干扰罗盘的时候，人们在罗盘的万向关节支架（自 16 世纪就已使用）中装上了弹簧。

液体罗盘 当船处于猛烈的运动中时，在罗盘盆里灌入液体，就能使方位盘稳定下来，浮起的方位盘能大大减小枢轴处的摩擦力。液体罗盘首先是由因根豪斯(Ingenhousz，1730—1799)于1779年建议的，到1830年就由戴恩斯(Danes)投入使用。1845年，这种罗盘被提供给皇家海军应对糟糕的天气。到19世纪末期，小型快船的过度摇晃和发射炮火时的震动，使液体罗盘成为必需。然而一直到1906年以后，液体罗盘才在皇家海军的所有船舰上取代了汤姆森罗盘。在商船上，汤姆森罗盘作为一种标准罗盘一直使用到现在，不过许多船只已采用更为稳定的液体罗盘作为操舵罗盘(如果这些船只尚未配备于1906年首先以一种实用的形式出现在德国的现代陀螺罗盘的话)。

整个19世纪，罗盘方位盘以罗经点(圆周的每个象限为8个罗经点)和度为刻度，但是小船使用的许多罗盘仪以罗经点为刻度。一根固着在罗盘盆上的被称为“船首基线”(lubber's point)的指针，指示着船头的方位。

六分仪 自1731年哈德利(Hadley)发明了他的象限仪以来，领航员的六分仪和八分仪(也称象限仪)在整体设计上一直保持不变。八分仪(第Ⅲ卷，边码555)一般是木制的，有一个象牙的刻度弧和一个能读到30角秒的游标尺，进入19世纪后半期很久以后还一直被使用。不过，有人在1800年前就做了一些黄铜制的八分仪。1757年，坎贝尔(Campbell)制造了一个金属六分仪，它有一个120°的刻度弧。经过拉姆斯登的改进，六分仪逐渐取代了八分仪。六分仪受到人们的喜欢，是因为八分仪的90°刻度弧经常不能满足观测月球的需要，而且它一般也没有足够精确的刻度。六分仪总是用金属制成，刻度分划在整个19世纪达到了10角秒，而且配置有望远镜。

457

人工地平仪 在18世纪的后半叶，特别是在所有重要港口还

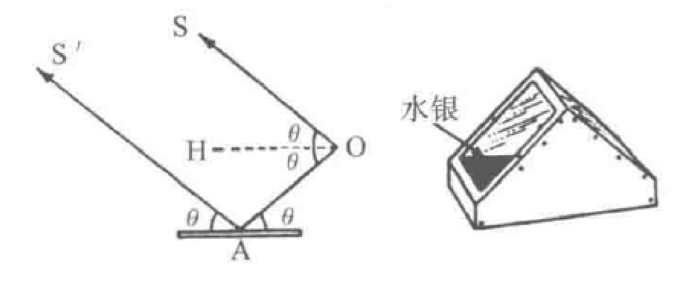


图 239　人工地平仪。（左）原理：被测角 SOA=2SOH（视高度）；（右）盖好玻璃罩的水银式人工地平仪。

没出现可靠的报时信号的时候，领航员要通过天文测时来确定精密计时器的误差。这种天文测时是在某些地理坐标已被确定并列在航海表簿册和其他出版物里的观测点进行的，通常是在正午之前观测一次太阳，记下精密计时器给出的时间，然后在午后当太阳处于同样高度时，再记下精密计时器给出的时间，两个时间的平均值（有一个由太阳赤纬变化引起的容许误差）就是太阳经过子午线时的计时器时间。因为观测地点的经度是已知的，计时器的误差就可以计算出来。当这样一种观测像通常那样用六分仪进行时，需要有一个人工地平仪，因为海平线几乎肯定会被遮蔽。虽然亚当斯（George Adams）在 1748 年就提出过建议（第Ⅲ卷，边码 556），但是这种仪器一直到 18 世纪末期才以实用的形式被制造出来。当时，它看上去就是一小盘水银，上面盖着一个玻璃罩，以防止风的干扰。整个 19 世纪，它就是以这种形式为人们所用，不过人们也设计了用黑色玻璃制造的较为简单的样式，大约有 4 英寸长、3 英寸宽，用酒精水准仪和调平螺丝进行调平。将指示误差考虑进去后，在人工地平仪上观测到的六分仪高度是实际高度的两倍，但对折射作用带来的误差尚未进行修正（图 239）。

在船上，当海平线被薄霭浓雾所遮蔽时，就需要另一种类型的人工地平仪。哈德利的象限仪出现后仅一年，埃尔顿（John Elton）就提出将两台酒精水准仪装到六分仪上，让观测人员能将他的仪器保持在真正水平的位置上。20 年后，罗伯逊（John Robertson）提到发明一种带有玻璃上表面的旋转陀螺（一种陀螺人工地平仪）。到 19 世纪中叶，又试验了两种不同的摆装置。但是，这些设备没有一种被证明可在海

458

上成功使用。

精密计时器和报时信号 科学航海从一开始起，精确测定经度就是它最困难的问题（第Ⅲ卷，边码551—552、边码557、边码672）。人们遵循的最有益的研究路线是，设计和制造一种真正可靠的计时器，编制精确的月离表，借此找到任何格林尼治时间的月球与太阳、行星或恒星之间的角距。用六分仪观测这种“月距”，可以把进行观测时船上计时器所显示的当地时间（经太阳观测校核）与表上所示的或根据表上数值计算出的格林尼治时间进行比较，两个时间的差值就给出了经度。这种解决问题的方法看来首先是由纽伦堡的沃纳（Johann Werner，1468—1528）于1514年提出的，创建于1675年的格林尼治皇家天文台极大地促进了这种方法的应用。

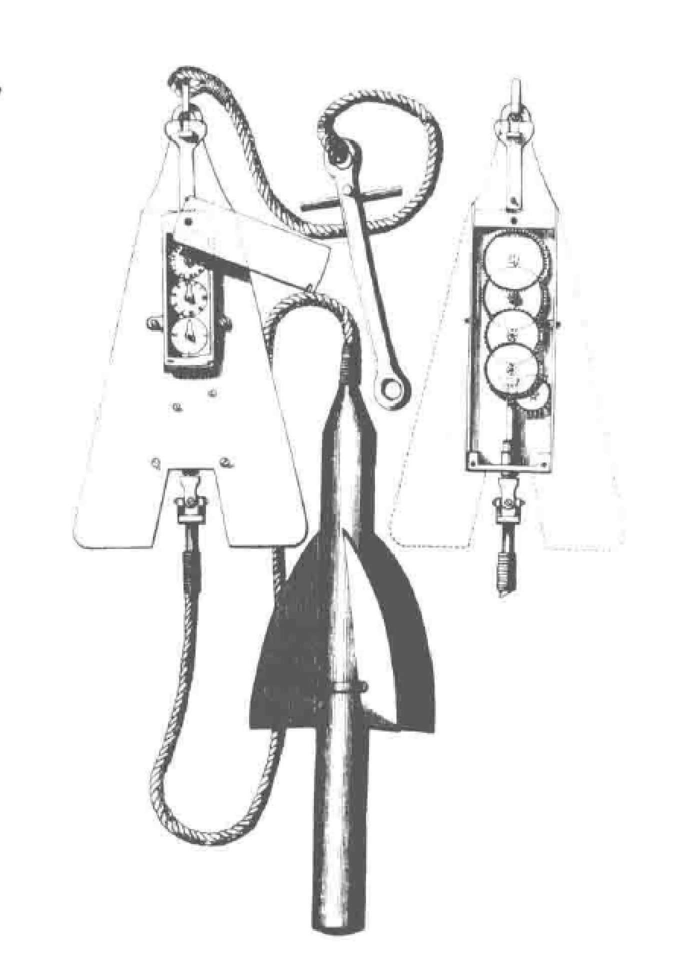


图240 马西的专利测程仪，这种测程仪由一根系在它上面的长绳索拖着前进。约1840年。

1735年，哈里森（Harrison）（第Ⅲ卷，边码672）造出了他的第一台计时器，并成功地经受了考验。他的第四台精密计时器——一种样子颇像大挂表的非常灵便的仪器，则是在1761年造出的。这是一项更大的成功，它使那些多思多虑的海员确信这个问题已经被解决[1]。然而，英国经度委员会继续发展着月距法。1755年，他们接受了由格丁根的梅耶（J. T. Mayer，

1 与哈里森的第四台精密计时器同时代的，还有由法国人用勒罗伊（P. Leroy）和贝尔图（F. Berthoud）制造的经线仪成功进行的实验（第Ⅳ卷，边码409—415）。

1723—1762）编制的月离表，它精确到了1角分，而且包括这种资料的第一本英国《航海历》(*Nautical Almanac*) 也在1767年出版。在1800年，几乎没有船只携带精密计时器，可是到了1850年，几乎每一艘装备齐全的船都携带并使用了它。然而，直到19世纪末期，人们仍然在观测月距，不过后来仅用来对可能出毛病的精密计时器进行校核。到1908年为止，月离表都印在了《航海历》上。

电报的发明大大地提高了在陆上测定经度的精确性，也使得正确的时间可以很方便地从最近的天文台传到港口，领航员能用来校验和调整精密计时器的报时信号变得更多更准确了。这种报时信号通常是在格林尼治天文台顶上竖立着的那种样式，一个大球顺着桅杆下落，并常伴以炮声。

测程仪 在19世纪后半叶，领航员已拥有多种设备来确定自己在海上的位置，但保持对航行路线和驶过距离进行“航位推算”的重要性并没有降低，因为可能是几天——有时是几个星期——都没有机会进行天文观测。

459

在1800年，人们使用两种估计驶过距离的方法。英国和大多数其他国家喜欢用测程仪（测速板），这是一块三角形木片，加有重物并系有测速绳，以使它能直立地浮在水中，测速绳很轻，以一定间隔的绳结作为标记（第Ⅲ卷，边码549）。在运作有序的船上，每小时终结时都投掷一次测程仪，被扔下船后就停在水中，而船继续航行一段由一只沙漏所指定的时间。这一段时间里所驶过的距离就用测速绳上越过船尾的绳结数目来推算，由此计算出航行速度。知道了以一小时为间隔的速度以及气象条件，在每个值班时间段里，船在水中驶过的距离就可以相当准确地被估计出来。一开始，两个相邻绳结的间隔为42英尺，沙漏的走时为30秒钟。1860年，在皇家海军的船上以及在大多数其他船上使用了一种28秒钟的沙漏，而且绳索上绳结的间隔是47.3英尺。

荷兰人则喜欢另一种方法，它记录的是船只经过一个漂浮物体的时间。到18世纪末期，人们在船舷上设置了两个相隔40英尺的标记，并以半秒为单位，用一只表或者靠背诵某首打油诗诗句的办法，记录下前后标记通过某个浪沫的时间差，用这个数除以48就能得出以海里为单位的每小时(节)船速。

这种粗陋但有效的测速板加测速绳的装置一直使用到19世纪末期，但是，甚至在1800年以前，人们就已在寻求一种仪器，它能够记录下在水中驶过的距离，而不是速度。据记载，菲普斯船长(Captain Phipps)于1773年试用了两种“永不停止工作的”测程仪。它们都由铜质或木质的螺旋管构成，在水中被拖着前进，转数由拖缆传递到船上并在标度盘上显示出来。在“马西(Massey)专利测程仪”[7]发明出来并被皇家海军和较大的商船采用之前，这样的仪器都没有受到人们的普遍欢迎。在马西的测程仪中，转子——一种带有叶片的圆柱——和记录器都被一根绳索拖着，这根绳索足够长，可以避开尾流中的旋涡。记录器用鱼尾形叶片来防止旋转，并将转子的转数转换成驶过距离指示在标度盘上(图240)。1861年，沃克(Walker)制造了另一种测程仪，它有一个类似于马西测程仪的转子，但有一根更长的可转动的绳索，记录设备就可以固定在船的栏杆，不用将测程仪拉到船上，就可以从标度盘上读出驶过距离。尽管沃克的测程仪成了更受欢迎的工具，但这两种测程仪都只使用到大约19世纪末期，便被证明在新型高速轮船上使用相当不可靠。不过，1900年之后不久，沃克又发明了一种类似形式的测程仪，能在高速航行中保持精确度。所有的自记录测程仪都是靠一个某种类型的螺旋桨运作的，而且人们早已认识到，船的桨轮或螺旋桨的转数可以同样正确地指示出船在水中驶过的距离，特别是那些吃水深度基本保持不变的船只，例如战舰和横渡海峡的定期邮船。

460

测深索和测深装置 测深索(边码452)可能是所有航海辅助设

备中最古老的一种。知道水深对海员有两方面的用处，一是警告他可能正进入危险地带，二是如果在海图上已标有足够多的近海水深，那么测得的水深可作为船只所处位置的一种可靠的指示。在能见度很差的情况下，按一定间隔测得的一系列水深可以标绘在描图纸上，并把这纸在海图上到处移动，直到这些水深与海图上标出的那些水深相符合为止，这样就给出了船只的一个位置，这个位置可以通过由测深锤从海底带上来的样本(边码 453)予以部分证实。

在水深大于 10 英寻的地方，从一艘行驶的船上用手投测深锤无法给出可靠的水深数据，于是人们显然希望有一种能在一艘行驶的船上进行深海水深测量的设备，因为每投掷一次深海测深锤就必须把船停下来，这样既费时又费力。马西看来是第一个提出一个实用解决方法的人，他的“测深飞梭”(sounding fly)[7] 比他的专利测程仪还要早。这种取代了测深锤的“飞梭”是一个管状重物，装有一个螺旋桨和一台记录器，当它自海面降到海底时，记录器就把转数转换成水深值记录下来。当飞梭碰到水面时，一种巧妙的装置能将螺旋桨松开，而当它撞到海底时，又能将螺旋桨锁住(图 241)。当时还有一个发明更为英国海军部所乐于采用，那就是伯特(Burt)的“浮标夹子”(buoy and nipper)[8]。这种测

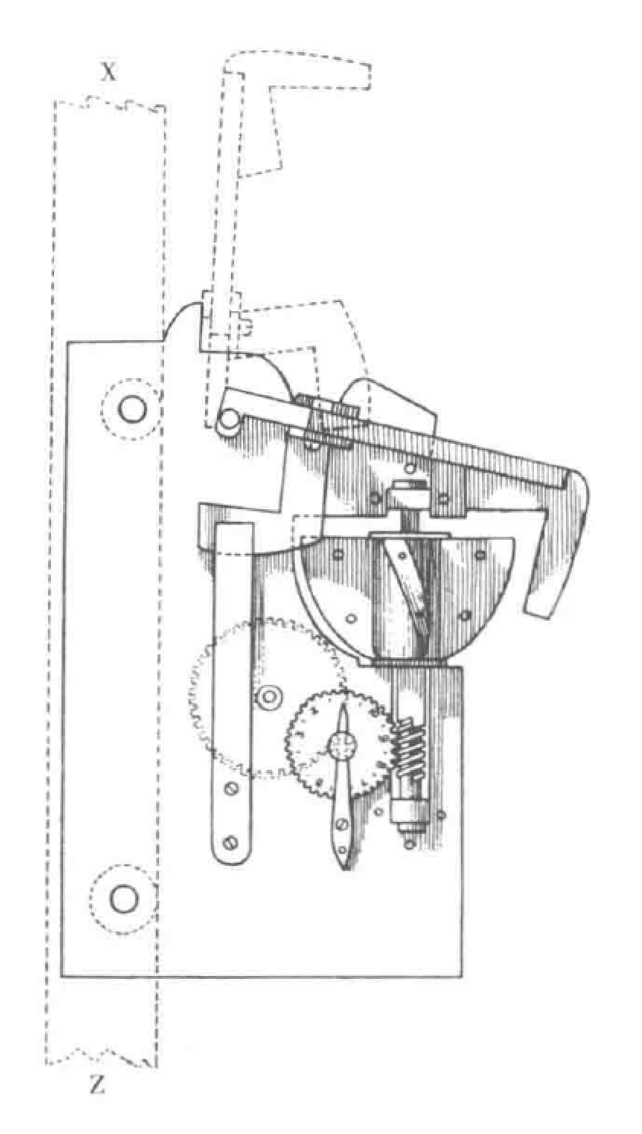


图 241　马西的测深飞梭。绳索系在 X 处，测深锤系在 Z 处。约 1820 年。

深装置的测绳上套着一个浮标，如果很快地放出测绳，则浮标在船驶离时会在水里保持不动，测深锤将竖直地从浮标处坠入海底。当测深锤碰到海底时，一个弹簧夹子会把测绳卡住，把这个装置拖上船后就可以读出水深。上述两种装置一直在使用，其他的测深装置也发明了出来。在埃里克森（Erichsen 或 Ericsson，1836 年）[9]发明的巧妙的自记录测深仪中，测深锤连有一根玻璃管，一端封闭，另一端是一个止回阀。当测深锤向海底坠落时，静水压强将海水压入管内，止回阀使海水只进不出。对应于被封住的水量，从玻璃管上的刻度即可读出水深（考虑到对平均大气压的偏离，会有一个修正量）。这个思路也为汤姆森爵士的测深装置（边码 453）所采用，在 19 世纪的最后十年里，这个测深装置已取代了所有其他的类型。如果船速很快，那么测深锤及其大麻纤维测绳的沉降速度之慢，将使这类装置全都变得没有用处，因为测深锤还没到达海底，全部测绳就已经放完了。1870 年，汤姆森建议用一种细金属线来代替大麻纤维绳，而且他在 1872 年用一种与卢卡斯（Lucas）的测深装置（边码 462）颇

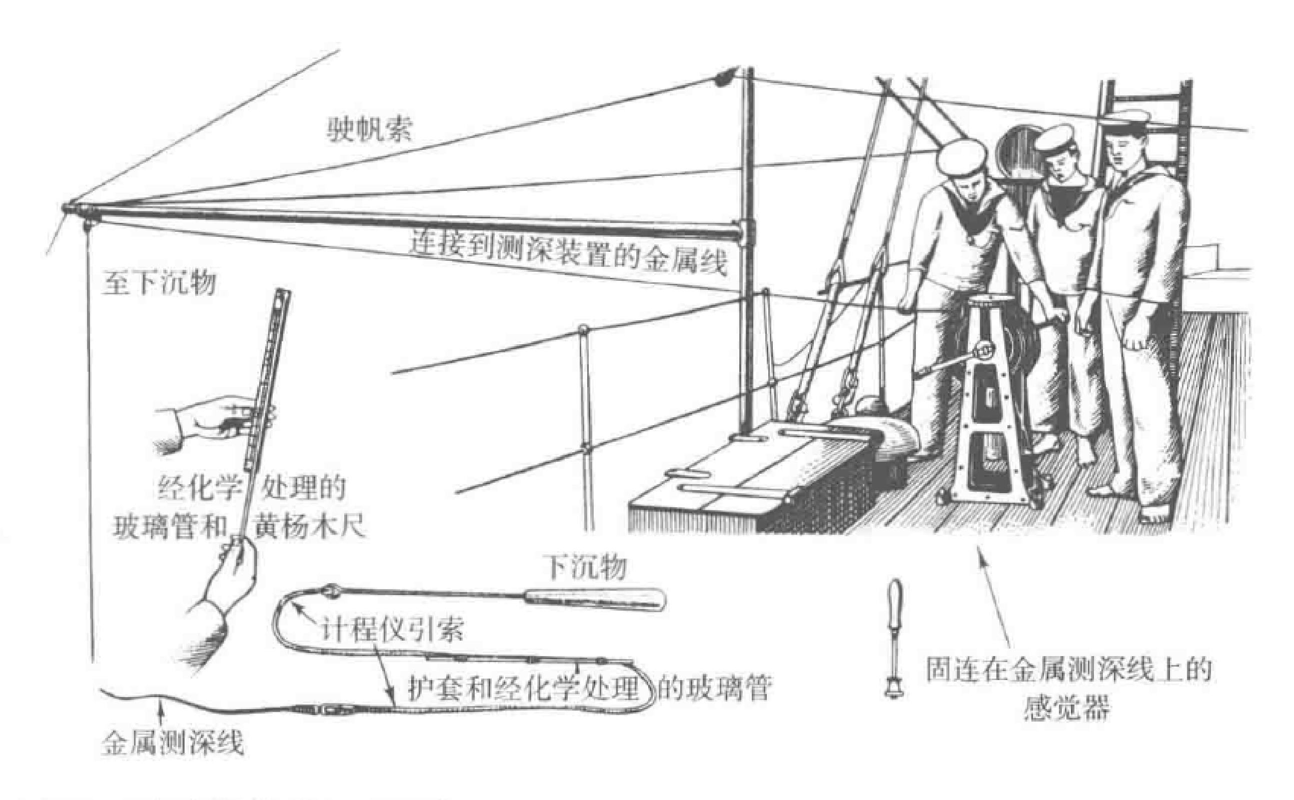


图 242　汤姆森的测深装置，1878 年。

为类似的装置，成功地测得了深海水深数据。于是，他又制造了一种测深装置，它由安在镀锌框架上的滚筒金属线构成，并装有制动器和摇把，连在一个重测深锤上的金属线穿过船尾栏杆上的一个滑轮。当制动器松开时，测深锤迅速坠向海底，滚筒的摩擦力很小，金属线在水中受到的阻力也很小。依靠金属线上的一个“感觉器”，很容易就知道测深锤碰到了海底，于是制动器发挥作用，放出的金属线的总长就显示在测深装置顶端的一个标度盘上，测深锤再被拖回船上，水的深度可从把金属线长度与船速联系起来的表格中查到。在深度不超过

462

20 英寻时，用这种方法可以很快测得水深。对于更大的深度，可将一根非常细的玻璃管测表插入靠近测深锤的一个黄铜管子内，按前述埃里克森的原理就可记录下海水深度。这根玻璃管一端开口，另一端密封，里面覆有铬酸银，被压入管内的海水能使铬酸盐变色，从而形成一条鲜明的分界线，通过一把刻有深度值的黄杨木尺就可读出相应的水深（图 242）。这种测深装置发明后没几年，便被皇家海军和所有装备齐全的船只在 1878 年采用。在此后不久即被发明的一种类似的装置中，静水压强驱使一个活塞去顶压一个弹簧，这个弹簧带有一种止回装置，以保证在测深锤被收回和深度值被读出之前，仍保持着被压缩状态[8]。

对于更深的海洋深度，电报建设与维修公司（Telegraph Construction and Maintenance Company）的卢卡斯设计了一种不同类型的测深机，并于 1880 年前后投入使用。图 243 显示了它后来的一种样式，但这在本质上与最初的样式是类似的。大滚筒上绕有长度约为 5000 英寻的钢琴弦线，经由一个铰链支架，绕过滑轮，连到重测深锤上。铰链支架与带式制动器相连，其连接方式使得当测深锤的重量作用在制动器上时，制动器立即松开，但是当测深锤碰到海底时，弦线上的张力减小，从而让弹簧迫使制动器对滚筒起作用。从一台记录器上，可以读出放出的弦线总长。

三杆分度仪 这种用机械方式解决三标后方交会法问题(three-point resection problem)的有用仪器，有时被认为是赫达特(Joseph Huddart，1753—1816)的功劳。但在19世纪之前，它看来已被海道测量工作者所使用。到19世纪末期，它还被认为是当船只沿海岸航行时领航员根据用六分仪测得的水平角标绘出船只位置的重要工具之一。

灯塔和浮标 自远古时代以来，人们就在陆上竖立起高塔和烽火台形式的建筑物，作为对海员的一种辅助和指南，作为对一条根本就没有特征的海岸的一种辨别手段，作为关于暗藏着的险情的一种警告，或者作为帮助船只驶过蜿蜒曲折的海峡的一种引导标志。从很早的年代起，包括埃及亚历山大港的法罗斯岛灯塔在内的一些设施，就已经点火放光。在19世纪，人们建造了许多灯塔，其中有许多建在了偏远的岩石上。1698年，温斯坦利(Winstanley)在埃迪斯通礁石上竖立起一座木制灯塔，在许多年中一直是不列颠群岛海岸周围唯一的一座离岸灯塔。1850年，列在英国《海军部信号灯一览表》上的全世界灯塔和信号灯船的数目是1570个，但是到1900年时是9424个，在1956年时已超过3万个。

最早的光源是木头和煤，埃迪斯通礁石上的斯米顿(Smeaton)的

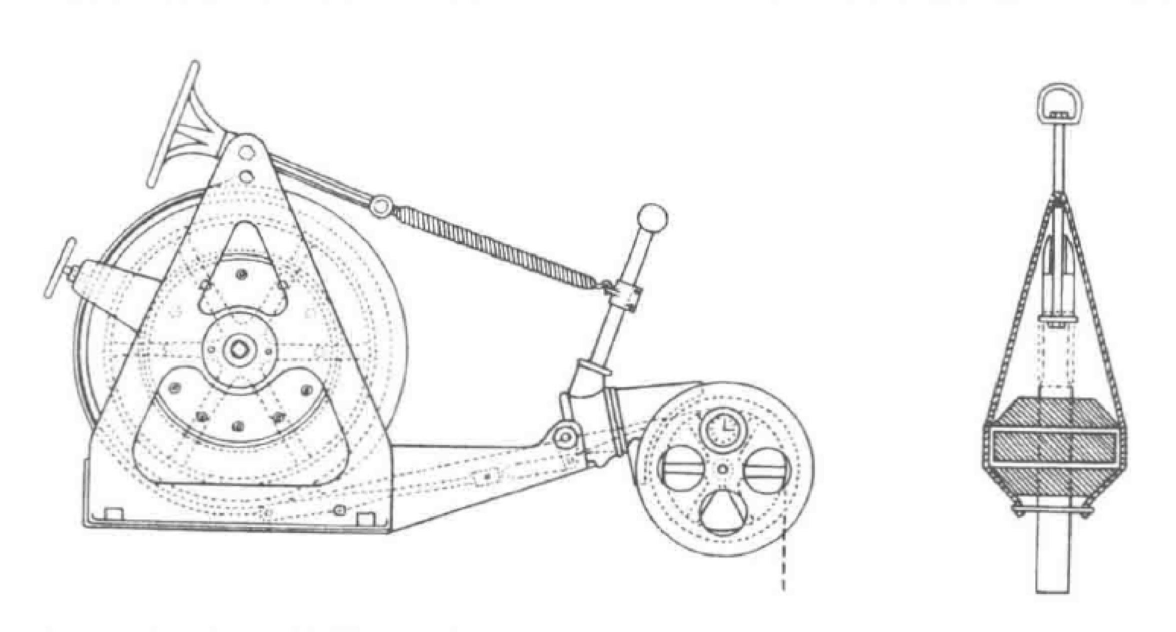


图243 (左)卢卡斯的测深机；(右)贝利的沉杆，改进型。约1920年。当测深锤碰到海底时，被吊索挂住的重物(阴影部分)会从肩状突出部放出。

石塔在1756年试用了蜡烛。不久以后，油灯被使用了，烧的是鲸油，并一直用到1846年。进入19世纪后不久，有许多类型的光源在使用，以白炽照明为主，或燃用矿物油，或燃用乙炔气。1837年，试用了煤气。1855年，则试用了电力。

英国第一艘就位的灯船于1732年被安排在诺尔(Nore，在泰晤士河河口)，但是到19世纪末期，那里至少又有了36艘灯船。有灯光的和没有灯光的浮标都被大量用来标记进出大港口的航道，并用来提请注意暗藏的险情。一直到20世纪，灯光浮标的照明问题才令人满意地得到解决。

464

大多数海岸灯船和灯塔还能传送雾中信号，但直到现在(1958年)也没有设计出完美的信号形式。在与最强的雾中信号十分接近的地方，可能会发生奇怪的信号间歇。在1900年之前，枪、号角和钟都用上了，但操作这些东西的灯塔看守员要承受很大的体力负担。

相关文献

[1] Lenox-Conyngham, Sir Gerald (Ponsonby). *Emp. Surv. Rev.*, 7, 146–55, 1943.

[2] Mayne, R. C. 'Practical Notes on Marine Surveying.' London. 1874.

[3] 'General Instructions for the Hydrographic Surveyors of the Admiralty.' Hydrographic Office of the Admiralty, London. 1877.

[4] 'The "Challenger" Reports', Vol. 1, by T. H. Tizard *et al.* Hydrographic Department of the Admiralty, London. 1873–1876.

[5] Shortland, P. F. 'Sounding Voyage of H.M.S. Hydra.' London. 1868.

[6] Wharton, W. J. L. 'Hydrographic Surveying.' London. 1882. (See also edition of 1898.)

[7] Massey, E. Massey' s Sounding Machine and Patent Log. Pamphlets in the Admiralty Library, London. 1820, 1837.

[8] Lambert, M. A. 'Sounding Machines for the Prevention of Strandings with Special Reference to James' "Submarine Sentry" .' Pamphlet in the Admiralty Library, London. 1891.

[9] Thomson, Sir William, 'Popular Lectures and Addresses: Navigation.' Paper read before the United Service Institution, London, 4 February, 1878.

参考书目

Arden-Close, Sir Charles F. 'The Early Years of the Ordnance Survey.' Institution of Royal Engineers, Chatham. 1926.

Bridges Lee, J. 'Description of the Bridges-Lee New Patent Photo-Theodolite' (2nd ed.). London. 1899.

Curteis, G. "The Work of Trinity House." *J. Inst. Navig.*, 4, 1, 1951.

Deville, E. 'Photographic Surveying.' Ottowa. 1895.

Edgell, Sir John A. 'Sea Surveys, Britain' s Contribution to Hydrography.' Longmans, Green, London, for the British Council. 1948.

Gore, J. H. 'Geodesy.' Boston and New York. 1891.

Hewson, J. B. 'A History of the Practice of Navigation.' Brown, Son & Ferguson, Glasgow. 1951.

Hitchens, H. L. and May, W. E. 'From Lodestone to Gyro Compass' (2nd ed.). Hutchinson, London. 1955.

McCaw, G. T. "Standards of Length in Question." *Emp. Surv. Rev.*, 1, 277–84, 1931–2.

Idem. "The Two Metres: the Story of an African Foot." *Ibid.*, 5, 96–105, 1939–40.

Phillimore, R. H. 'Historical Records of the Survey of India' (3 vols). Published by order of the Surveyor General of India. Dehra Dun. 1945–54.

Rabbitt, J. C. and Rabbitt, M. C. "The United States Geological Survey, 75 Years of Service to the Nation, 1879–1954." *Science*, 119, no. 3099, 1954.

Robinson, A. H. W. "The Early Hydrographic Surveys of the British Isles." *Emp. Surv. Rev.*, 11, 60–65, 1951–2.

Idem. "Captain William Bligh, R. N., Hydrographic Surveyor." *Ibid.*, 11, 301–6, 1951–2.

Idem. "Some Hydrographic Surveyors of the early Nineteenth Century." *Ibid.*, 12, 146–52, 1953–4.

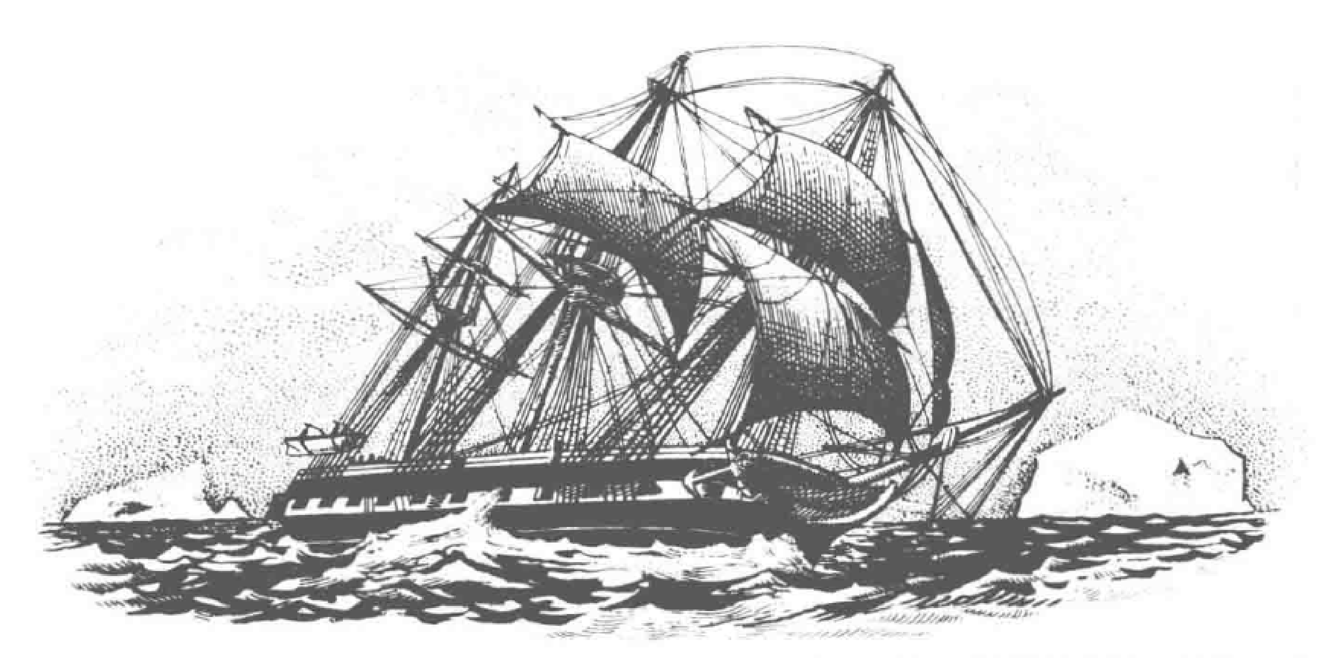
Stanley, W. F. 'Surveying and Levelling Instruments' (3rd ed.). Spon, London. 1901.

Stigant, G. B. "The Hydrographic Department of the Admiralty." *Emp. Surv. Rev.*, 12, 2–12, 1953–4.

Studds, R. F. A. "The United States Coast and Geodetic Survey ; its Work and Products." *Ibid.*, 11, 98–111, 146–58, 1951–2.

'The United States Geological Survey, its Origin, Development, Organization and Operations.' *Bull. U.S.*

geol. Surv., 227, 1904.
Whittingdale, W. "Maps and Survey in South Africa." *S. Afr. Surv. J.*, 3, 276–85, 1930.
Winterbotham, H. St J. L. "An Old File and a New Arc." *Emp. Surv. Rev.*, 2, 7–12, 1933–1934.
Idem. 'The National Plans.' *Prof. Pap. Ordn. Surv., Lond.*, 16, 1934.



英国皇家海军的"挑战者号"(1858年制造)，它于1872年至1876年间进行的环球航行，提供了现代海洋学所依据的许多数据。

第6编

土木工程

第20章　建筑材料及技术

S. B. 汉密尔顿（S. B. HAMILTON）

466

这一时期的建筑物被其设计者和所有者宣称为建筑上的杰作，它们坚固而庄严，但并非独创，就是帕拉第奥式、希腊式或者哥特式等历史风格的学者式仿制品。这样的建筑物几乎没有技术上的难题。在建筑物设计中，引起建造兴趣的是适用性而不是美观性，例如大型火车站或大型展览厅的长跨度屋顶是令人感兴趣的，它们的设计者通常是工程师。在这一时期后期产生的框架结构建筑物，也主要是强调实用性。大概是为了增加魅力，它们借用了一些风格迥异的古代建筑物的装饰物来加以美化，但墙壁往往装有玻璃窗和轻质装饰板，还有很多所谓的“防火”地板，同时内部用薄墙壁分割开来。发展这样的建筑物是为了满足商人的需要，他们希望办公室尽量靠近拥挤的商业城中心。

从技术角度来看，风格及装饰没有什么意义。本章的重点是介绍如何用新方法来使用众所周知的材料的技术、如何使用某些新材料的技术，以及如何把通过科学研究而不是反复试验的演进过程提出的理论原理应用于实践的技术。只是在这一时期，才断断续续形成了这种应用。我们最好从木材的使用开始讨论，因为它或许是除泥土之外最古老的建筑材料。

20.1 木工技术

随着设计师们解决力学问题能力的提高以及铁制紧固件的出现（第Ⅳ卷，第15章），木材在现今的大型结构中得到了更有效的应用。然而在木材资源丰富的地方，居住型建筑物还是习惯于形成一种榫接板材的柱子框架，在各连接处支架和其他构件多采用槽口接合和对缺接合。这种传统方法由早期殖民者传入美国。在欧洲，框架的构件之间常是抹灰篱笆墙，后来改用木架砖壁（第Ⅲ卷，图171）。但是，美国十三州也像在肯特郡和埃塞克斯郡一样，这些空间常常装进轻质的板墙筋（直立的柱或原木），整个外表面盖有水平的风雨板（美国称之为护墙板）（第Ⅲ卷，边码265）。由于从欧洲来的移民不断涌入美国，并从大西洋沿岸向西扩展，这些人口持续增长的新居民迫切需要住房。那里尽管有大量木材，却缺少木工，于是一种重量很轻、看起来很脆弱的、被传统建筑师蔑称为“气球框架”的建筑物问世了，它满足了人们的需要。

467

究竟谁是“气球框架”的发明者还存有疑问。1943年，吉丁（S. Giedion）声称它的发明者是斯诺（George Washington Snow，1797—1870），一个于1832年在芝加哥河入口处加入一个小定居点的新英格兰贵格会教徒。1957年，科尔迪特（C. W. Cordit）认为发明人不是斯诺，而是来自康涅狄格州哈特福德的一个名叫泰勒（Augustine Deodat Taylor）的木匠。然而，他们都同意这种结构是在这个后来成为芝加哥的小镇上发展起来的[1]。

人们认识到，到那时为止，只被用作支撑护墙板的直立板墙筋也可用来支撑房顶，只要把木板钉在它们的上下两端即可，因为有那么多板墙筋，大约每隔18英寸就是一根，这样就可以省去沉重的框架栋木。同时，由于所有其他栋木都用钉子连接，所有榫接合、对缺接合以及其他切割适配的连接件也一样均可省去。1833年，这种建造法被试用于建造一个小教堂，并获得了令人满意的效果，由

此被应用于房屋的建造。从建筑物顶部到底部都使用轻质长板墙筋，并用钉子将木板固定在其中间偏上部位，这样一来，板墙筋不但能支撑屋顶，而且能支撑上层的地板（图 244）。用于制作板墙筋的木料在锯木厂被加工成相应的长度，并附上标记和编号，与一袋钉子和做好的门窗一起被运到施工地点。一个手巧的人除了用锤子和梯子外，几乎不需要再用什么就可自行装配、建造房屋。老派的木匠只有昂贵的手工制作的钉子，因而用起来非常节约，主要用它们来固定木板，以形成地板、门、百叶窗的框架。但是，19 世纪 30 年代出现了机械制造的铁钉，而且远低于原来的价格，甚至把板墙筋和楼板连接起来所需的许多长而坚固的铁钉也不再昂贵到令人望而却步。就这样，让西部新建小镇和农场的大部分居民得以安身的建筑物诞生了。

468

在铁路客运的发源地英国，由于客运铁路的出现，需要建造具有新奇特点的建筑物。那些必定会引起公众注意的建筑物是大城市的火车站。起初，这些建筑相当朴实。1830 年，利物浦和曼彻斯特铁路公司（Liverpool and Manchester Railway）的利物浦终点站建在了王冠山（Crown Hill），屋顶由跨度为 35 英尺的双柱桁架支撑，而那时埃奇丘陵（Edge Hill）上和莱姆街（Lime Street）之间的深路堑尚未完工。首个莱姆街站的桁架跨度是 55 英尺，在 1836 年建成。大西部

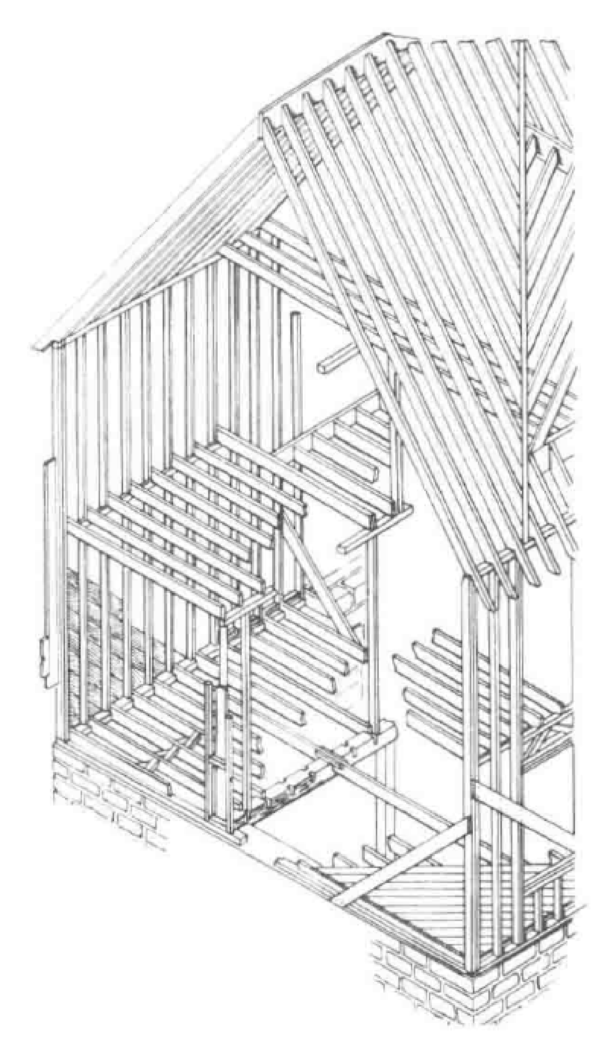


图 244　房屋的“气球框架”。

铁路公司(Great Western Railway)的首个帕丁顿车站(1837年)的桁架跨度，则只有30英尺。然而到了1840年，布律内尔(Brunel)在布里斯托尔建造出了更令人瞩目和更辉煌壮丽的屋顶，其跨度达72英尺，表面上是一种悬臂托梁屋顶，结构上则是一种有拉杆的尖拱。与之对比，令人回想到1388年建造的威斯敏斯特大厅，它有一个跨度为68英尺的悬臂托梁屋顶，围绕一个作为其主要构件的拱安置。1842—1844年，英国工程师在鲁昂建造了一个火车站，屋顶单跨为82英尺。但是，最大的木制屋顶当属于1852年建成的伦敦金斯克劳斯(King's Cross)火车站，采用跨度为105英尺的半圆拱支撑两个大的筒形穹顶，拱从铸铁桩靴伸向空中，铸铁桩靴位于从主砖墙伸出的支墩上(图245)。19世纪50年代，铁路终点站不但为客运也为货运提供服务，而且设有转车台及叉道用以转轨。实际上，这种建筑物既是火车库又是客运站。

图245　伦敦金斯克劳斯火车站内部的原始情况，木拱从铸铁桩靴伸向空中。

用小块木料制作木拱的方法有两种。一种是由德·洛姆(Philibert de l'Orme)于16世纪引入的[2]，即将短板在竖直方向上拼接起来，拼接处要做适当切割，使拼接缝沿拱的径向得以实现(第Ⅲ卷，图164)，相邻层木板间的接合处错

开，木板用木钉连接在一起，这种方法仍用在临时的拱鹰架上，只是用铁钉代替了木钉。另一种方法归功于埃米上校（Colonel Emy），他大约在1825年使用了向拱半径弯曲的长薄木板构架，以支撑60英尺跨度的屋顶。除了屋顶建造外，这种方法后来也用于桥梁工程。

用桁架代替拱来支撑屋顶也是一种方法，早在其原理还未全部被弄清楚之前，它就偶尔被应用（第Ⅱ卷，图402B）。中世纪的屋顶通常靠坚固的系梁来提供强度，屋脊及桁条则由它通过垂直的支柱或倾斜的支杆来支撑（第Ⅳ卷，图265），因而椽子只是起到放置屋顶盖的作用。在18世纪的桁架中柱屋顶或桁架双柱屋顶中，一些椽子作为拱的真正构件恢复了原来的功用（第Ⅳ卷，图265）。系梁上的载荷被减小，承担起在主椽脚处进行束缚以阻止椽子向外冲出的任务。这种形式需要一些铁制紧固件，下一步就是插入铁制拉杆来形成图246所示的两种形式之一的三角框架结构，适当拉紧受拉件后，主系梁承受的载荷就能够全部减除。在这些形式中，桁架全部用熟铁装配，后来改用了钢。然而在19世纪中叶，经常发现仅有受拉件是熟铁制的，椽子和支杆则是用铸铁或木材制成，或是兼而用之。

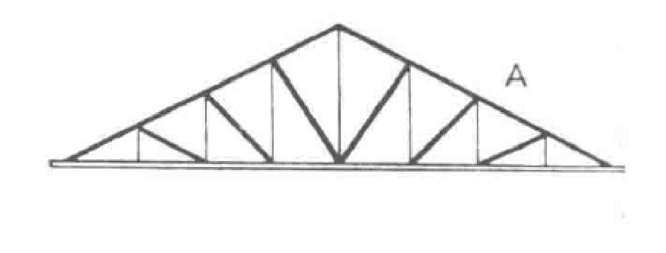
对铁路运输来说，木制的屋顶桁架使用寿命很短。虽然木材能抗拒机车烟雾中的含硫气体，但与有着一定湿度的木材相接触的铁却做不到，于是紧固件迅速被腐蚀，特别是在铁棒插入木材的地方。金斯克劳斯火车站的木拱在1869年和1887年换成了熟铁拱，但仍然采用原来的托座[1]。尽管肯定要时常修理，布里斯托尔的悬臂托梁屋顶还是留存了下来。从一开始，伦敦和伯明翰铁路公司的火车站就用铁做屋顶的全部材料。

470

1 有几部现代著作认为1869年的拱是钢制的，但那是错误的。根据当时的报道，例如班克罗夫特（R. M. Bancroft）在1869年12月17日的《建筑新闻》（*The Building News*）上的报道，可以很清楚地知道它们是熟铁制的。

20.2 铸铁

在英格兰，铸铁在建筑结构上的应用一开始是为了增强厂房的防火性（第Ⅳ卷，第15章）。用铸铁做立柱、横梁、窗框，而用砖或石头砌成外墙，石板楼板支撑在横跨铁梁的砖拱上，此种结构应用在厂房这类建筑物上已成标准做法。19世纪50年代，很多商场和办公楼内部的建造方法与这些厂房很相似，只是外表面全部采用了铁和玻璃[3]。纽约的博加德斯（James Bogardus）建造了许多这样的建筑（图247），并且写了一本这方面的书。如今，在美国和英国还留有许多范例，例如1855年由一位不知名的建筑师设计的格拉斯哥的加德纳大楼（Gardiner's Building）至今保存完好。



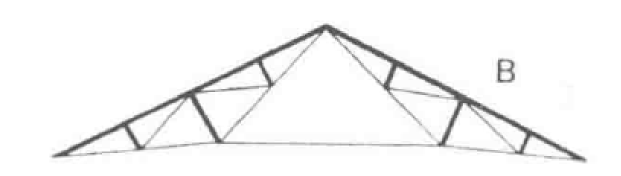


图246 屋顶桁架形式；承压件为粗线，受拉件为细线。A适用于有天花板的屋顶；B适用于开放式屋顶。

铸铁也可用于复制各种风格的装饰物。1813—1818年，在建筑师里奇曼（Thomas Richman，1776—1841，他对哥特式建筑的年代划分至今仍被人们接受）的支持和帮助下，默西铸造厂（Mersey foundry）的克拉格（John Cragg，1767—1854）试验性地在利物浦建造了三座教堂，其立柱、拱廊、屋顶结构、窗棂、窗花格都属于哥特式形状，都用铸铁建造[4]。

克拉格获得了这种建筑方式的专利，房顶和墙壁由置于内外板条之间的厚石板构成，很像如今玻璃安装于金属格条上那样。石板墙壁被抹上了沙子或石粉，看上去像石板砌体。由于立柱太过细长，拱太狭窄，墙壁太薄，它看上去不太像真正的哥特式石造建筑。而且，由于铸造件过于规则且太过相似，无法表达出一种可与手工石造建筑略不规则的纹理上明暗交替的变化相比的情调。从美学角度出发，里奇

曼后悔进行了这样的试验，克拉格却获得了专利并制出了模型，还准备为有需要的人提供铸件。教会方面的需求一向不大且很快就没有了，但铸造立柱、蒸汽发动机构架和带“哥特式”、经典式或只是没有装饰细节的桥梁部件的做法一直被保留了下来。在第一次世界大战时期，一家著名的苏格兰铸造厂的产品目录还在继续宣传经典柱型铸铁立柱。下泰晤士大街的煤炭交易所大楼是在 1847 年至 1849 年间由伦敦城的建筑师詹邦宁（James Bunsten Bunning，1802—1863）建造的。这幢大楼虽然外部是传统的砖石结构，内部却有一处场院，上面是一个直径为 60 英尺的圆顶，顶端的高度为 74 英尺（图版 26A）[5]。圆顶有镶着玻璃的铸铁肋骨，由带托架的铸铁立柱支撑，托架上承载着三层铸铁走廊。目前的议会大厦（1840—1857 年）的屋顶是一个引人瞩目的结构，主要由铸铁构成，包括覆盖板、

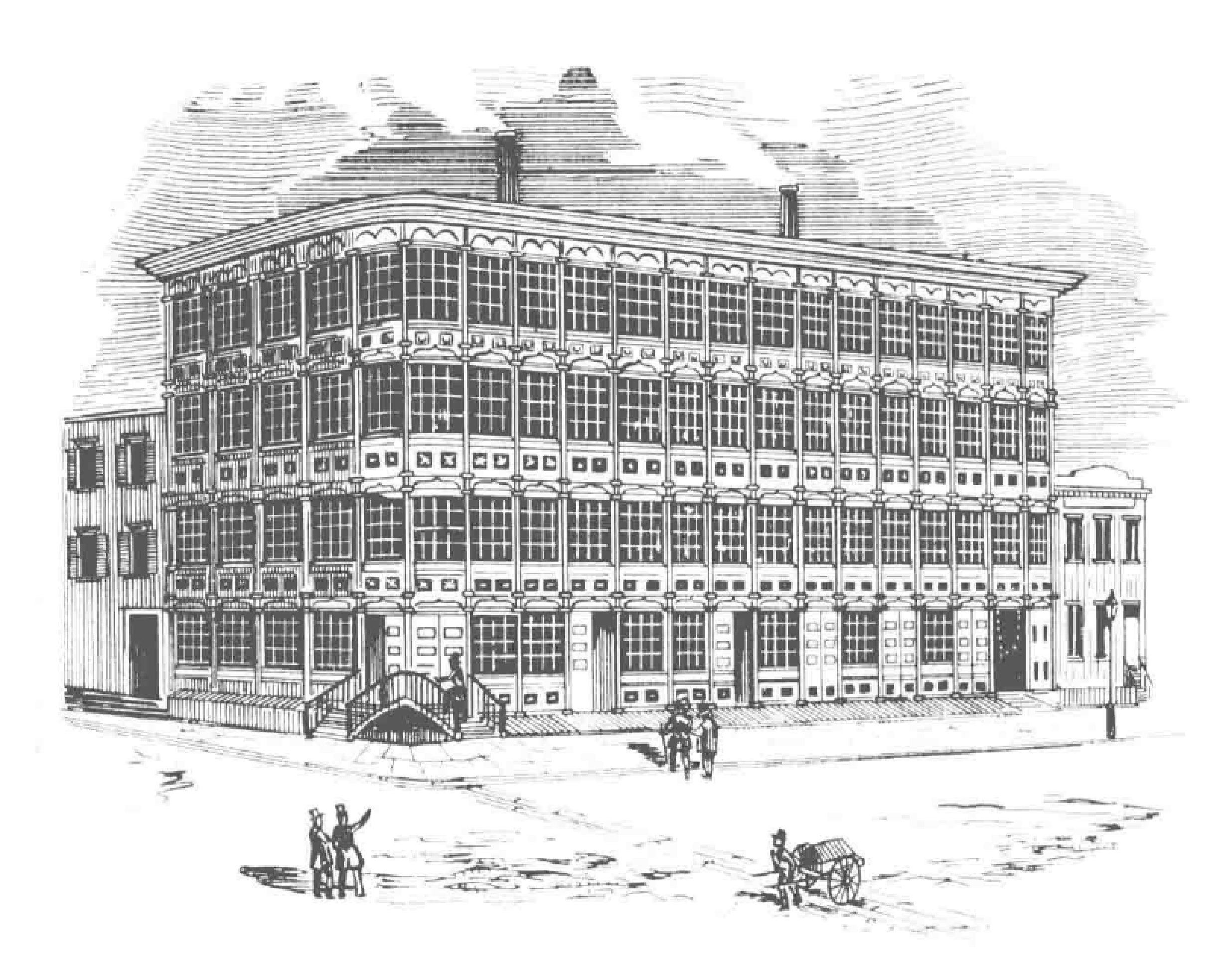


图 247 铸铁外墙，纽约。1851 年。

围住和覆盖大本钟的框架也是铸铁的。

用铸铁做立柱、拱廊、窗花格的一个典型例子是巴黎圣欧仁(Saint-Eugène)的一座大教堂，位于圣塞西尔街(rue Sainte-Cécile)和保全街(rue du Conservatoire)的拐角处，在1854年至1855年间由布瓦洛(L. A. Boileau)建成，他从经济角度出发选择了铸铁材料[1][6]。教会应用铸铁的另一个更为显著的例子是鲁昂大教堂中央塔上的透雕大塔尖，它于1823年开始建造，直到1876年才竣工。这一塔尖从地面算起高达485英尺，在建成时是世界上最高的建筑物(图版27B)[2]。

20.3 熟铁

19世纪50—60年代，当铸铁建筑的时尚潮流仍处于顶峰的时候，熟铁的应用已有了相当的扩展。18世纪，由于搅炼方法的引入(第Ⅳ卷，第4章)，通过在反射炉内燃烧掉多余的碳，便可由铸铁或称生铁制得熟铁或称可锻铁。这个过程由蒂普顿的霍尔(Joseph Hall)于1839年进行了改进，"给他的搅炼炉衬上一种部分可熔的铁氧化物，烧沸而非烘烤生铁"[7]。这可去掉磷和一部分硫，因而无须要求冶炼厂使用昂贵的含铁量高的进口矿石，就能为锻工们生产出质量较好的铁。

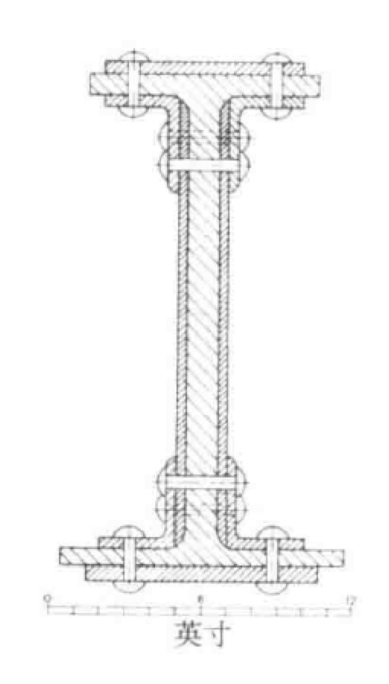


图248 菲尔德关于增强熟铁梁的专利。

熟铁应用于建筑，最早主要是作为木构件和铸铁构件的一种补充。例如在"组合板梁"中，一条长铁板被夹在两根木制梁的中

1 1868年，布瓦洛在伦敦的莱斯特宫(Leicester Palace)内建造了一座法国教堂(现已损毁)，用了暴露的铸铁穹窿拱肋。

2 建于约公元前2500年的大金字塔，当初高达479英尺，现为449英尺；伦敦的旧圣保罗教堂，建于公元1315年，1561年被烧毁，高达489英尺；博韦大教堂的尖塔，建于公元1500年，1573年倒塌，高达486英尺。

间，或一根木制梁被夹在两块铁板之间。上述两种情况都用螺栓予以紧固。为了便于修理及加固铁梁，菲尔德（Henry Fielder）将形状适合的熟铁板材或角材铆在铁梁上（图 248），并为此取得了英国专利（1847 年）。同一年，巴黎著名的工程师左雷（Ferdinand Zorés）说服轧钢厂生产出用于楼板的熟铁小工字梁。1855 年，这些梁中的两种（图 249）在巴黎万国博览会上展出。工字梁凸缘狭窄不平，只有在万能滚轧机出现时，才有可能生产出梁缘及梁腹都很平坦的产品。在这种滚轧机中，水平和垂直的轧辊通过齿轮连接，以相同的圆周速度转动。这样的万能滚轧机约于 1853 年制造出来，但是重型熟铁轧制梁的生产仍受到限制，因为一次只能生产一小块熟铁坯，这样工人才能在炉内加以搅动并最后将之移至一根铁条上。在轧制一根大截面长梁前，必须生产许多坯料，并把它们锤成一个大坯料，这一过程的劳动量很大。只有当能浇铸在大型铸模里的低碳结构钢出现时，大量经济地生产各式小截面轧制梁才成为可能。虽然万能滚轧机早在 19 世纪 50 年代就已出现，且于 20 世纪在轧制宽凸缘大截面梁方面变得日益重要，但人们发现用只装有水平轴轧辊的滚轧机来轧制普通截面梁，既经济又实用。在这些轧辊之间，原始截面为矩形的炽热坯料来回通过，轧制品被一系列由大变小的凹槽划过，经过七八个来回形成一种梁——梁腹横直，凸缘的外表面竖直，内表面与竖直方向倾斜 8°。在这种截面梁商品化之前，桥梁或建筑物上采用的大尺寸梁都是由铁板、角铁、T 形铁及其他截面的铁梁铆接在一起制成的。威廉·费尔贝恩爵士（Sir William Fairbairn）在其经典著作《铸铁、熟铁在建筑

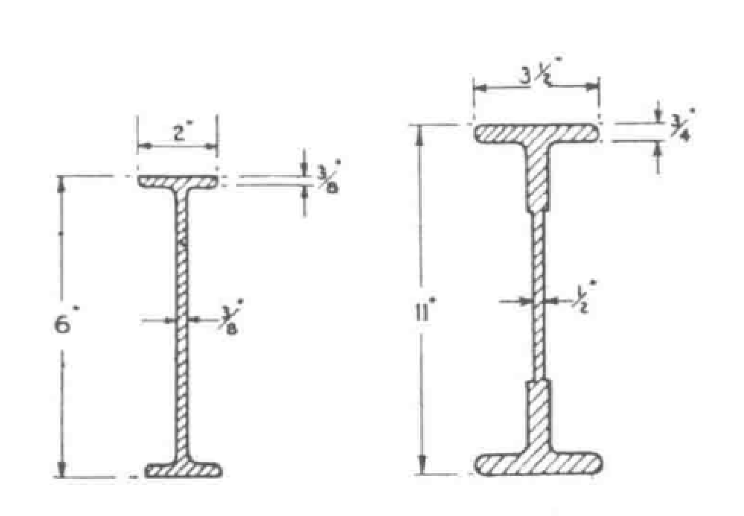


图 249　在巴黎展出的两种熟铁梁，1855 年。

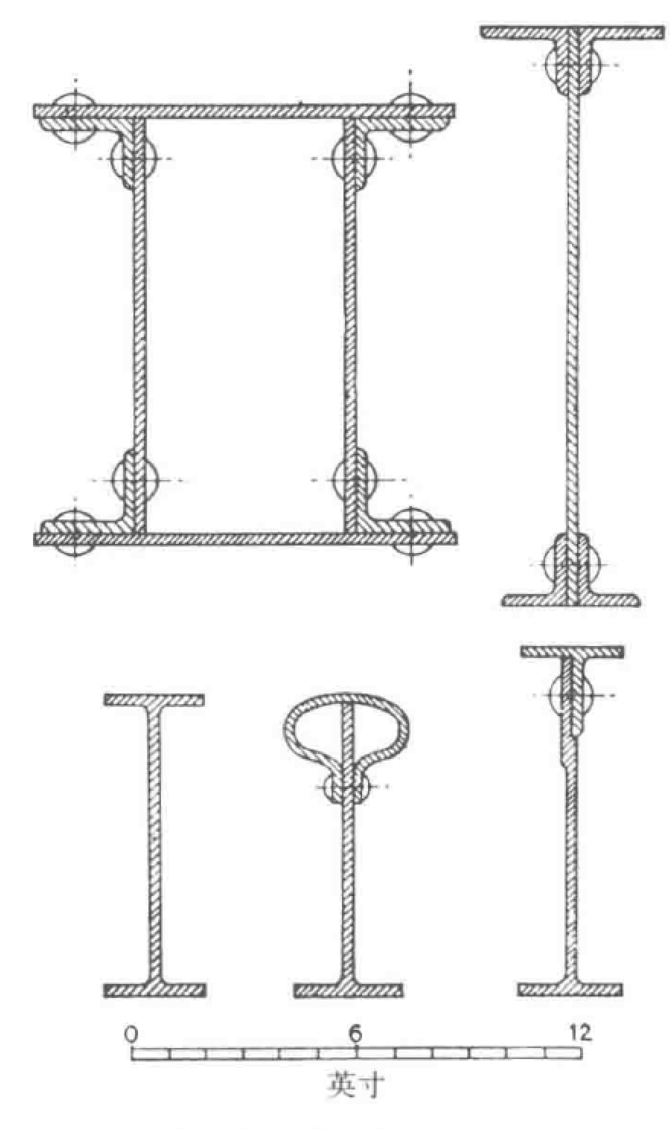


图 250 熟铁梁的例子（费尔贝恩）。

上的应用》(*The Application of Cast and Wrought Iron to Building Purposes*)（1857年）的第二版里，给出了这样的例子（图 250）。在他宣传熟铁是一种经济实用的建筑材料的前后，铁路公司正想建造能尽量少带柱子之类阻碍物的大型开放式车库，因为这些阻碍物给重新布置铁轨、站台以满足不断变化的需要增加了难度[8]。原先尤斯顿（Euston）车站（1839 年）的屋顶桁架的跨度仅为 40 英尺（现仍覆盖 4—7 号站台，供慢车使用），采用熟铁材料，由铸铁梁、支柱支撑。15 年来，利物浦莱姆大街站一直是此线的第三个终点站，它于 1848—1849 年重建，屋顶采用了跨度为 152 英尺的镰刀状主梁，当时是世界上最大的跨度。1854 年，伯明翰的新街（New Street）站的站台屋顶采用了跨度为 212 英尺的镰刀状主梁。于 1865 年封顶的伦敦圣潘克拉斯（St. Pancras）车站由巴洛（W. H. Barlow）设计，采用了具有尖顶网格拱的单拱顶（图 251）。这些网格拱的跨度为 240 英尺，高为 100 英尺，由熟铁系梁固定在拱形轨迹下面。超越它的是费城布罗德大街（Broad Street）站的尖顶弦系拱，于 1891 年至 1893 年间建成，跨度达 300 英尺。

474

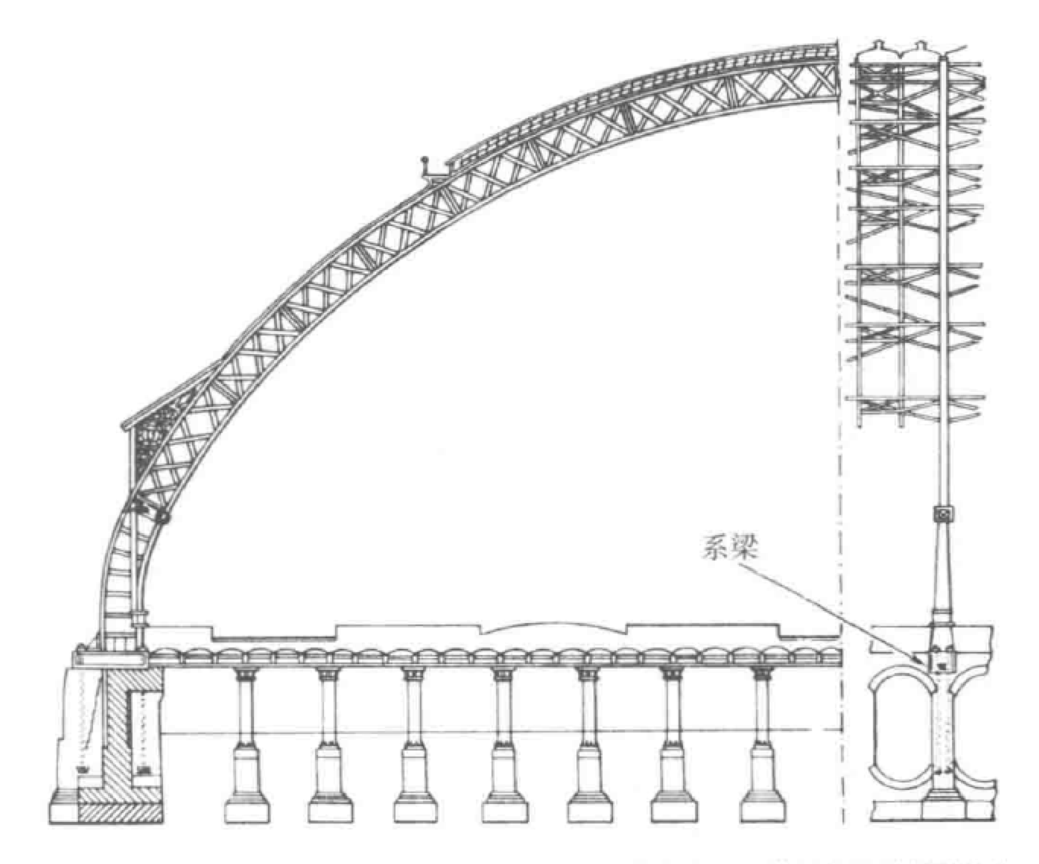


图 251　伦敦的圣潘克拉斯车站，1865 年。这个跨度为 240 英尺的屋顶所覆盖的区域为 690 英尺 × 240 英尺。主肋是跨度为 29 英尺 4 英寸的拱鹰架。

除了少数例子外，承载负荷的建筑构架一般不会完全用熟铁制成。1851 年在伦敦的海德公园内为万国博览会建造的"水晶宫"，是一幢熟铁和铸铁混合使用的建筑物，也是预制结构单元的一个很好的例子（第Ⅳ卷第 15 章有所描述）。1871—1872 年，索尔尼尔（Jules Saulnier）在努瓦西尔（Noisiel）为梅尼耶巧克力厂（Menier Chocolate Works）建造的大楼全部采用铁制框架，由建于马恩河河床上的石墩支撑[9]，动力由桥墩间的水轮机提供。由于这个结构实际上是一座桥，除桥墩间有一层外，上面还有四层，墙壁重量一定要轻。它们用空心砖砌在一个铁加撑框架各杆件间的框格里，上面覆盖着色彩斑驳的瓷砖（图 252），来自框架的载荷通过连续的箱形梁传到石墩上。更早的由全铁框架和悬墙构成的建筑物，于 19 世纪 50 年代建在希尔内斯造船厂内[1]。　475

1　Skempton, A. W., *Trans, Newcomen* Soc., **32**, 57—78, 1960.

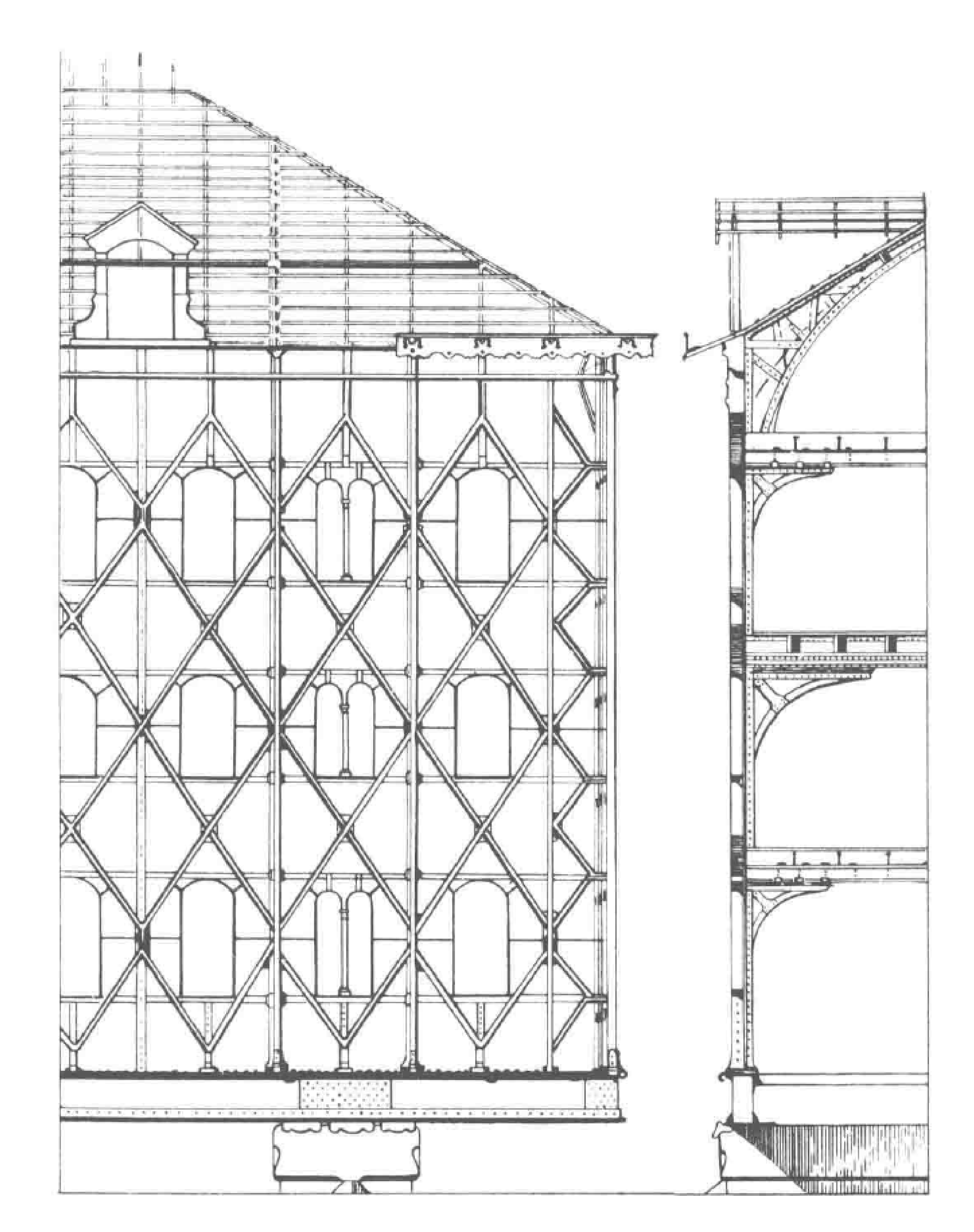


图 252　索尔尼尔建于马恩河畔努瓦西尔的巧克力厂，这是一种骨架构造的最早例子。1871—1872 年。

大不列颠博物馆走廊的楼板由铸铁空腹大梁支撑，净跨度为 41 英尺 6 英寸，这些大梁代表了当时（1824 年）铸造技术的高水平。1854—1857 年，在博物馆的内部大院建造了内直径为 100 英尺、到穹顶基部高度为 105 英尺的圆顶阅览室。圆顶的肋骨由熟铁板材和角铁制成，采用铸铁桁条，底部有双层铸铁环梁。柱子的截面是由 3 个工字截面组成的一个十字截面，一根阔的沿径向直接立于肋骨之下，

其他两根较窄，每边一个，通过那根阔柱的梁腹用螺栓固定在一起（图版26B）。这些大铸件不是机械加工的，不会呈现真正的接合面。安装好后，它们之间有大约一英寸的间隙，间隙中填以赭色水泥，即铁屑、卤砂及水的混合物，在间隙中硬化并紧紧附着在铁表面上。这种水泥的发明归功于默多克（William Murdock，1754—1839），他是煤气灯的开拓者（第Ⅳ卷，边码261），而且是博尔顿（Boulton）和瓦特（Watt）的亲密合伙人，据说后者在建造蒸汽机框架时首次采用了这种水泥。

作为1889年巴黎万国博览会特色的埃菲尔铁塔，由埃菲尔（Gustave Eiffel，1832—1923）设计并以他的名字命名，高度为984英尺（图253）。它由7英尺厚的混凝土地基作支撑，靠近塞纳河边的地基深及地下50英尺，远端则为23英尺。在这些地基之上建造了石墩，石墩的深处埋有这座铁建筑物的底脚，用直径为4英寸的熟铁棒扎成，共有7300吨熟铁用于其上部结构。给旅游者提供了机械升降梯，显然是这座闻名遐迩的建筑物的一个必然特点。

20.4 结构钢

人们有点惊奇地发现，晚至1889年，像埃菲尔铁塔这样的建筑物使用的是熟铁而不是钢，而与它同时代的福斯桥却采用了后一种较新的材料。在19世纪50年代之前，几乎不可能有这样的选择，因为那时的钢通常是通过在坩埚内加热熟铁棒料及粉状木炭的方法而制得，过程很昂贵而且出钢量小。因此，钢只限于用在工具、弹簧以及尺寸不是很大且钢的硬度对它们来说很重要的地方上，用于结构构件则太过昂贵了。1885年，第一个大规模生产钢的方法由贝塞麦（Henry Bessemer，1813—1898）获得专利（边码54）。

477

用钢锭代替搅炼铁坯料可以得到大块钢坯，轧钢厂安装了有足够动力来处理它们的轧制机械。这样一来，人们企盼已久的具有厚实截



图 253　巴黎埃菲尔铁塔，1889 年。

面的工字梁在商业上变得可行了。德比的巴特利公司（Butterley Company）于 19 世纪 80 年代开始生产低碳钢梁，在这之前的一些年份里，他们一直生产轧制熟铁梁。1885 年，多尔曼·朗公司（Dorman Long）开始轧制钢梁。1886 年，多尔曼·朗公司和雷德帕思·布朗公司（Redpath Brown）都开设了建筑构件部门，前者在 1887 年出版了其第一本关于钢梁截面的书。

其他制造商也进入了这个前景广阔的领域，但每个工厂各有自己的形状规格和尺寸范围。直到 1904 年，英国工程标准协会［British Engineering Standards Association，现英国标准协会（British Standards Institution）］才颁布规范，将截面规格（要求该行业承诺其未来主要轧制品将限于这些规格）和所用钢的质量予以标准化。英国贸易委员会在 1877 年允许结构钢制件作为桥梁的一种合适的材料，福斯桥（1883—1890）的上部建筑事实上用了 5 万吨多一点的钢。

1890 年前后，在解决空前高度建筑物问题的过程中，建筑物的全钢骨架构造在美国得到了发展。极高建筑物在欧洲还没有像在美国那样受欢迎，但是不久以后钢构架也被广泛采用。

在英国，雷德帕思·布朗公司的斯科特（Basil Scott）在 1895 年设计了一个采用钢梁及钢立柱的大库房，外部承载墙则用砖砌。1896 年，他还设计了一个全钢构架的家具库房，建于西哈特尔浦，并自认为这

可能是英国第一个采用这种结构的建筑物[10]。1904年，用在工业建筑物以外其他建筑物上的钢构架引入伦敦，当时用钢制件建成的里茨饭店（Ritz Hotel）是由比兰德（S. Bylander）设计的，他在美国学习了这种钢构架形式。然而直到1909年，《伦敦建筑法》（*London Building Act*）才允许将法定的建筑物外墙的最小厚度减小，虽然在这之前，已经有人把外墙颇具实用性地降级为在每层楼面用钢梁支撑的抗风雨格板。

20.5 高层建筑

478

直至可靠的客用升降机问世，人们才对高于四五层的建筑物有了很大的需求。在1850年之前，波士顿和纽约就有了运送货物的升降机，但它们的移动速度很慢。升降机厢由一块配重来部分地控制平衡，配重由绕在升降机井顶部滑轮上的绳索牵引，升降机厢则直接安装在一个进出于汽缸的柱塞上，汽缸伸入地坑的深度同升降机厢升到的高度相同，动力是液压驱动。这种装置在工作时安全可靠，噪声小，不过速度慢。使用适中长度的液压发动机并采用滑轮组可获得较快的速度，但这意味着升降机厢必须系在绳子的末端，绳子经磨损会失去强度，一旦断了，机厢就会掉到升降机井底。在升降机能够持久地用于运送旅客之前，必须采用一些安全装置。奥蒂斯（Elisha Graves Otis，1811—1861）满足了这样的要求，在升降机井两边安装棘轮，在升降机厢上安装棘爪，绳子有张力时棘爪与棘轮不接触，一旦绳子失去张力，弹簧就会把棘爪弹出，挂住棘轮。他在1854年纽约水晶宫万国博览会上展出了这种装置（章末插图），并在1857年将其实际安装于纽约的一家五层楼商店。1889年前后，第一部成功的电梯问世。

同时，从1882年开始，在芝加哥以及不久以后在纽约的建筑物的层数都远远超过五层。依靠承重墙建起的最后一幢高层建筑可能是纽约的普利策大楼（Pulitzer Building），它于1890年完工，高达14层，



图 254　芝加哥家庭保险公司大楼，这是使用贝塞麦钢的早期例子。

外墙基部厚达 9 英尺。1873 年，位于伦敦安妮王后大门的安妮王后大厦开始兴建（图版 27A），也有着大约同样的高度，外墙、交叉墙、内墙都是砖砌式的，然而，最厚实的墙在底部且仅为 2 英尺 7.5 英寸。此后，这种英国式实验再未进行过。

为了用砖砌墙壁支撑高大建筑物的重量，较低层次的外墙必须非常厚，这样一来就会占用大量空间。即使建筑物的内部重量由铸铁

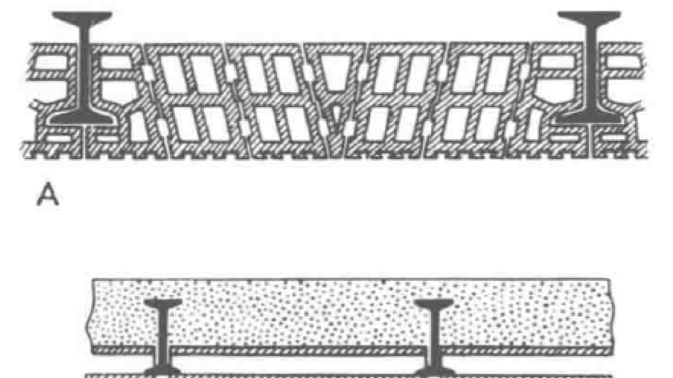
立柱支撑，能够承受其本身重量的高大而厚实的外墙也仅能提供有限的面积以安装窗户。1883年，珍妮（William Le Baron Jenney，1832—1907）受家庭保险公司（Home Insurance Company）委托，在芝加哥为他们建造一座10层的办公楼。公司要求办公楼既能防火又能使每个房间有尽可能多的自然光线，珍妮便在外墙里使用了铸铁立柱，即用砖将立柱砌封在外墙里（图254），6层以下由熟铁梁支撑，往上则使用贝塞麦钢梁。这可能是将钢大量用于重要建筑物的首次实践[11]。 479

随后建成的高层建筑物都在结构中采用了铸铁、熟铁、钢，且常常在同一建筑物中同时采用这些材料。第一座全钢框架建筑物可能是于1890年在芝加哥建成的第二幢兰德－麦克纳利大厦（Rand-McNally Building）。由于采用全钢骨架，可分别在不同的楼层同时建造墙壁。当时，最高的建筑物是在1892年建成的共有21层的共济会大厦（Masonic Building）。很快，美国其他城市也效仿芝加哥，纷纷开始建造高层建筑物。由于外墙实际上已经成了处于立柱与横梁所围成的方格中的防风雨屏障，可以采用轻质结构，在实践中主要采用玻璃。

20.6 建筑物的防火 480

从人类开始在住房内生火做饭、取暖以来，由火灾引起的建筑物损毁或破坏的隐患就一直存在着。合法使用人工照明、吸烟和携带火柴，又加剧了这一危险。一些工业生产过程需要使用高易燃性材料，特别是在有易燃地板、楼梯、隔板的建筑物中大规模进行这些生产过程时[1]，往往导致严重的火灾。大约在1800年，人们开始采取措施来减少工厂着火的危险性，即采用铸铁立柱、横梁，用砖拱代替木梁及木板来支撑楼层（第Ⅳ卷，第15章）。然而，铁构件通常会直接暴露其表面，在大火燃烧下会因失去强度而倒塌。当采用轻质小截面熟铁

1　有些通常被认为不具有高易燃性的材料，其实当它们以细粉状与空气混合时会具有易爆性。因此，在老式的面粉厂中曾发生过许多严重的爆炸事故。



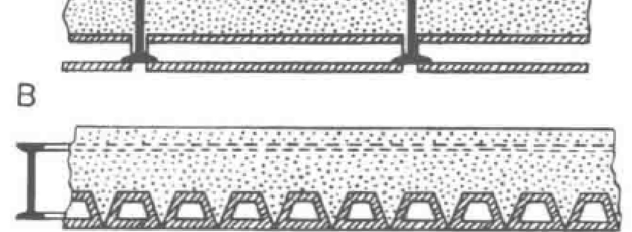


图 255　防火楼板系统。(A) 道尔顿 (Doulton), 1873 年;(B) 霍曼 (Homan), 1889 年。

梁以及后来用钢材来代替粗重的铸铁件时，倒塌的危险性会大大增加。人们很快就明白，这些构件需要包裹一层耐高温且导热性差的材料。如果不对高大建筑物的钢构件采取这样的防护，火灾带来损失乃至丧失性命的危险性就会极大。

钢构件周围的混凝土是一种极为有效的防护层，但它最薄也要有 1.5 英寸厚。为防止这种防护层碎裂或在立柱拐角和横梁下侧脱离钢构件，可把钢丝网嵌入其内。混凝土还用作横跨于主梁的楼板，在此种楼板内嵌有薄截面钢搁栅(即加固搁栅)。要用模板(临时支架)将混凝土固定于主梁及立柱周围，并在加固搁栅周围的混凝土凝固前支撑楼板。然而，还有许多手段可代替这种实心混凝土楼板。图 255 给出了两种典型的防火楼板，它们的下层都由空心赤陶砖组成，在 A 中它们形成平拱，在 B 中则是一排平行的过梁。虽然形成 A 中的平拱需要某种轻质模板[12]，但是 A 和 B 都不需要连续的模壳。

481

一般认为烧黏土空心砖楼板组件在美国的生产始于 1875 年，最早是在新泽西州，但其后不久，其他许多地方也相继生产。开始时都是机制产品，很多像图 255A 所示的一样。但是，重载楼板需要更坚固的构造，即把空心砖中如图示那样与梁同向的直立实心隔板改变成与梁垂直。为减轻空心楼板砖的重量，艾奥瓦州埃尔多拉的吉尔曼 (A. D. Gilman) 在烧结之前将木屑混于黏土中，木屑在砖窑内被烧掉后形成一种多孔的空心砖，据说可用锯来切割，还可用刨子来刨。它被称为赤陶木料 (terracotta lumber)，从 1884 年起在纽约大量生产，

木屑与黏土的比例可高达1:1。密实、轻质的空心砖都被称为结构陶土瓦（structural clay tile），并于19世纪最后十年在芝加哥、纽约以及其他城市中广泛应用于框架式结构的多层建筑中。

极高的建筑带来了一些新的防火问题。使用防火结构是一个明显的预防措施，轻质的结构陶土瓦的采用正合时宜。控制和隔离火源特别重要，否则一旦较低楼层着了火，较高楼层上的人就无法从楼内通道到达地面，而且有些人会被困于过高的楼层而不能从外边的梯子逃生。高度在80英尺或100英尺以上的建筑物使消防队员无法从外面灭火，高度更高时，消防用水只能取自用大楼水箱供水的消防栓，而这些水箱是由私人抽水机械注水的。在极高的建筑物中，需要在几个楼层上安装这样的水箱，否则低楼层水箱的压力会高到使消防水龙无法承受。

没过多久，人们对少数宣传能“防火”的高大建筑物进行了防火试验，发现其中一些地方并不十分令人满意。赤陶空心砖只要在位就可以保护钢构件，但其安装细节需要特别小心，否则会在最需要的时候脱落。自来水管常安装在给立柱提供防火性的罩壳内的凹槽里，这样可能会导致罩壳覆盖不完整，或者导致罩壳的其余部分安装不牢固。水管穿越防火地板时形成或留下的洞会让烟或火焰通过，除非仔细予以封填。楼梯及升降机井将会成为烟道，把火从一层传到另一层，除非在每一层楼面上把它们同房间和走廊都用防火墙和保持关闭的防火门隔开。即使设计很合理，施工漫不经心、细节上质量低劣也会影响效果。当时实施的建筑法规并没有提出对新型建筑形式的安全要求，但是保险公司及两个国家的管理部门很快认识到修订它的必要性。1890年，波士顿的一个保险公司集团开始进行安全装置的检查。1896年，纽约市建设局（Building Department of New York City）开始试验所谓“防火”楼板的耐火性。德国于1893年在柏林、1895年在汉堡也进行了试验。

482

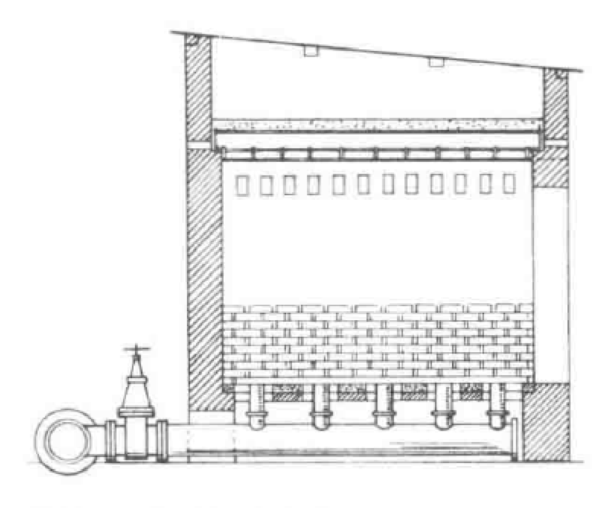


图256 英国防火委员会用于检测地板的炉子（约10英尺见方），1897年。

1889—1899年，伦敦发生过10次大火灾，每次都毁掉许多建筑物，其中大部分是由不符合现行建筑法规的旧建筑物引起的，但是大火会经过狭窄的巷道蔓延到较新的建筑物上。伦敦没有也不准备批准兴建高层建筑物，但是新建筑物增加窗户面积的趋势，使其比许多旧建筑物更易于被邻近楼房着火而产生的辐射热引燃。这些大火灾中最严重的一次发生在伦敦城北面的克里普尔盖特（Cripplegate）地区，时间是1897年11月19日中午刚过。虽然有300名消防队员及50台蒸汽消防车参与灭火，但大火到晚上才熄灭。这次火灾促使英国防火委员会（British Fire Prevention Committee）大量增加会员，该委员会是在萨克斯（Edwin O. Sachs，1870—1919）的领导下，由一些建筑师和其他一些人在几个月前自愿组成的团体。这个团体在摄政公园（Regent's Park）附近一幢房子的庭院里建立了一个检测站，并开始出版一系列出版物，其中一部分是提供消息和咨询的，另一部分则是有关各种地板结构、门、隔板等的检测报告。他们的检测在砖墙炉内进行（图256），被测试的材料例如地板则被用作炉顶。控制煤气燃烧，给出所需要的温度，持续时间需事先规定好或直到地板毁坏为止。防火委员会制定了防火地板、天花板、隔板和门的标准测试要求，这些要求于1903年在伦敦举行的由该委员会赞助的一次国际防火会议上被正式接受。很多年以后，人们才普遍接受了一个根据防火性对建筑物进行适当分级的办法，以及根据建筑物的用途和大小强制执行一种防火等级的规定，但早在20世纪初期，在这个方向上的几个重要步伐已经迈出。

483

20.7 水泥

在19世纪中叶的几十年里，有三种能够通过商业途径得到并用在砂浆或混凝土中的石灰质材料，它们可在潮湿环境下或在水中凝固，这被维卡特（L. J. Vicat，1786—1861）称为“水硬性”。第一种类型包括各种水硬石灰和天然水泥，例如帕克（Parker）的“罗马”水泥，它是通过煅烧天然含有一种石灰、铝、硅的适当混合物的石料而得到的。第二种类型是以各种专利名称出售的人造水泥，它们都是先将石灰石或白垩与黏土或页岩按一定比例（根据经验确定）混合，然后在1100℃—1300℃的温度下烧制而成。阿斯普丁（Joseph Aspdin）原始专利中所述的波特兰水泥，似乎应该属于第二类水泥。但是到19世纪50年代，波特兰水泥这个名称已被用于第三种水泥，即将人造水泥在1400℃—1500℃下煅烧，使其中的混合材料烧结，然后将烧结成的熟料研磨成细粉末而制得。到1850年，这种高温煅烧水泥在英国有4家工厂生产，在滨海布洛涅则有一家工厂生产。在1851年万国博览会上展出时，大家公认它的强度明显比其他水泥都高，这导致了更多厂家的建立。

用来煅烧水泥的窑还是第Ⅳ卷图246所示的样子，原料在干燥状态下混合后作为一批炉料进行处理。1870年，戈尔汉姆（W. Goreham）取得了关于湿磨原料的英国专利，而这种方法已被巴黎附近默东的法国水硬石灰制造商使用了一个世纪，煅烧前必须对湿磨混合物浆进行干燥。1872年，约翰逊（I. C. Johnson）取得了“隧道式水泥窑”的专利，在这种水泥窑中，混合物浆在一个70—80英尺长的水平腔室中得到干燥。本来是从窑顶释放到大气中的热气体，现在被引导通过这个腔室再去烟囱。从磨碎机泵上来进入腔室的炉料，就这样被煅烧前一批炉料的余热所干燥（图257）。

484

人们为把批处理煅烧法改成连续作业法而进行了努力。例如，在欧洲大陆上发展了各式各样的立窑，有一种是由一个高度为40英

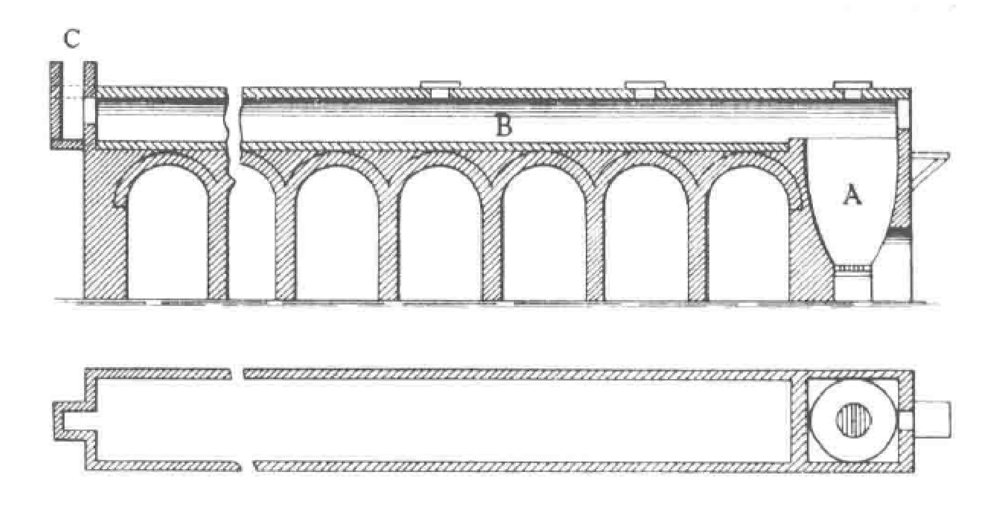


图 257　约翰逊隧道式水泥窑的剖面图，1872 年。

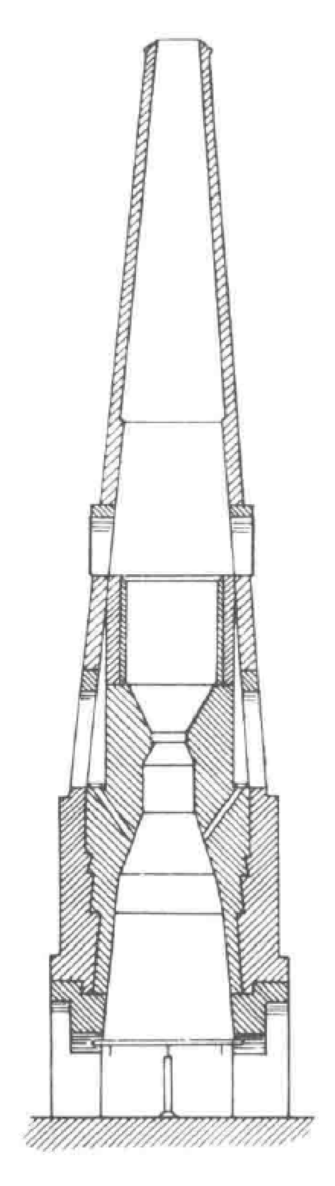


图 258　一种丹麦立窑，约 1900 年。

尺、直径为 8 英尺或 9 英尺的立式圆筒构成的，石灰石、黏土和焦炭的混合物从其漏斗状顶部加入（图 258）。19 世纪 80 年代，这种立窑由德国引入英国。1877 年，克兰普顿（T. R. Crampton）取得了回转窑的专利；炉料被送入一个转动、倾斜、中空的圆筒的高端，火在底层燃烧，这火是因燃烧一股粉末状煤和空气的喷射流或发生炉煤气及其他能源而产生的。用于燃烧的空气先要通过第二个转动的圆筒，以使其中的熟料冷却（英国专利，1877 年第 2438 号）（图 259）。用这种方式可以连续完成混合、干燥、煅烧、冷却，因此它已成为一种标准方法。但是，其各成分的比例并不令人满意，且克兰普顿的发明似乎并没有进入商品生产阶段。兰塞姆（Frederick Ransome）认为引入粉末状原料，并不断加以搅拌，就不需要再磨细。他于 1885 年满怀希望地申请了该项专利。但是，精细的原料常常形成烧结块。兰塞姆于 1887 年在希钦附近的阿尔塞（Arlesey）建造了回转窑，但是它的性能并不令人

满意。后来他去了美国，于1886年获得了一项美国专利[13]。

由于美国的波特兰水泥工业开始得比英国晚，英国在一些年份里向美国出口水泥。由于运输费用的原因，这种水泥价格昂贵。在美国“运河热”期间（约1820—1840）发展起来的许多天然水泥品牌，直到19世纪90年代还继续受到欢迎。1876年，塞勒（D. O. Saylor）在宾夕法尼亚州的科普利建立了一家波特兰水泥厂，但是他发现没有回转窑，产品价格很难与进口水泥竞争。正是塞勒继承了兰塞姆的计划，并和同行一起使它取得了成功的进展。不过，有许多实际困难需要克服，其中一项是石灰及有着助熔剂作用的水泥熟料会使煅烧圆筒的内衬耐火砖熔化，直到发现用水泥和水泥熟料做内衬效果更好。早期的圆筒过短，不能在炉料排出之前完成燃烧过程，后来圆筒的长度逐渐增加到约150英尺，并获得了有益的结果[1]。在克兰普顿的专利说明书草图中所示的熟料冷却筒（图259）并没有被广泛应用，而且在一块底板上摊成一个薄层进行冷却既占地方又费时。赫里（E. H. Hurry）和西曼（H. J. Seaman）重新发明了经改进的旋转冷却圆筒。到19世纪90年代初，回转窑技术已十分成熟。美国水泥工业很快摆脱了外国竞争的影响，几乎将天然水泥赶出了市场[14]。

485

到19世纪90年代，欧洲制造商也不再依赖于英国进口水泥，甚至还威胁到英国本土的水泥市场。当时，很多英国工厂的制造设备陈旧，一些厂家的产品质量不可靠，用户抱怨有些厂家在水泥中掺有无用的石粉。幸运的是，为了英国工业的未来，有些人意识到了高质量的重要性，并使企业协力行动来使它们的设备现代化，而且重新组织其生产及销售方式。

486

正如前面（第Ⅳ卷，边码449）所言，大都会工务局（Metropolitan Board of Works）开始在购买合同条款中对水泥质量实行了控制，这是一个重要的开端。从1859年到1867年，他们购买了7万吨水泥，用

1 许多现代（1958年）窑的长度都超过了300英尺。

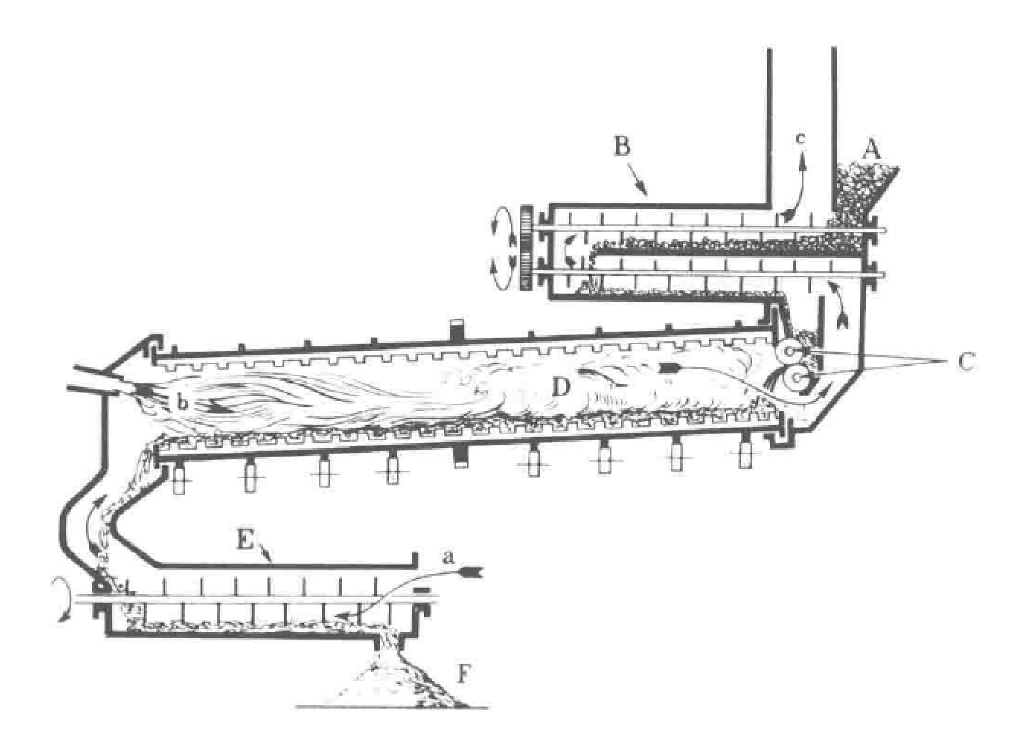


图 259 克兰普顿煅烧水泥的专利回转窑。(a)冷空气入口;(b)火焰;(c)烟囱;(A)加白垩和黏土混合物的料斗;(B)带有旋转搅拌桨的干燥室;(C)研磨滚子;(D)在滚子上旋转着的管状窑;(E)带有旋转搅拌桨的冷却室;(F)水泥熟料。

在伦敦主排水系统的下水道砖砌工程的砂浆中,先后进行了1.5万次测试[15]。为保证其材料达到大部分工务局的许可标准,一些水泥制造商在自己的工厂里进行了测试,但在当时这样的测试并不普遍。然而在1878年,少数工厂规定采用筛网来检查水泥的磨研细度,因为这对水泥强度的影响很大。1889年,赫尔的G. 厄尔和T. 厄尔(G. & T. Earle)开始把测试波特兰水泥的物理和化学性能定为常规,并从1897年开始向顾客提供附有测试结果的证书。

如前所述,到19世纪90年代,英国已失去了水泥生产领先地位的优势,如果能重新获得原来的地位,或者确切地说是如果英国制造商不想落后于海外竞争者太多,那么就必须采取决定性行动。一些主要的公司对此进行了磋商,其中的一部分在1900年联合起来成立了波特兰水泥制造商联合会(Associated Portland Cement Manufacturers)。这个组织从美国人赫里和西曼手中购买了经他们改进的回转窑的专利权,并在泰晤士河边的工厂里建造了这样的回转

窑。第一份有关波特兰水泥的英国标准规格于1904年颁布。美国材料测试学会(American Society for Testing Materials)也在同一年颁布了其标准，但是自1884年以后，测试已被美国土木工程师学会(American Society of Civil Engineers)予以标准化[14]。

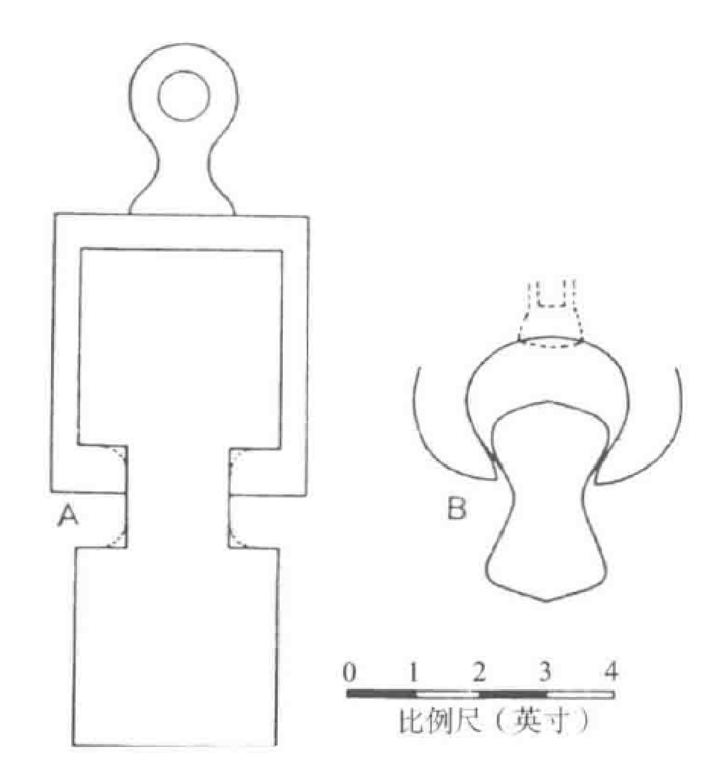


图260　水泥拉力试验的标准试块。(A)格兰特(约1860年)：注意使得裂纹过早出现的尖内角，后来的修正用虚线表示；(B)现代(1904年)，此形状能保证应力均匀分布。

格兰特(John Grant)为大都会工务局做了测试，采用截面为1.5英寸×1.5英寸的纯水泥拉力试样。最初测试的是存放7天的试样，其强度从75磅到719磅不等，相当于从每平方英寸33磅到每平方英寸320磅，试样颈部的尖锐折角无疑扩大了这种可变性(图260)。他确定验收的最小值为400磅，相当于每平方英寸178磅。1904年的英国标准要求，存放7天的纯水泥试样的强度最小值是每平方英寸400磅，28天为每平方英寸500磅。另一种方法是试验掺了标准沙的标准试块，这种沙可从贝德福德郡的莱顿巴泽德矿井中获得(并按规定筛选)，混合的重量比为1∶3，存放7天的强度不得低于每平方英寸120磅，28天不低于每平方英寸225磅。在其后英国标准规格(B.S.12)的各次修订版中，最小强度的标准逐渐提高，一部分原因是对制造和测试试样的方法有了更严格的规定，更重要的原因是对生产过程进行了严格控制，生产出了更可靠的产品。到1940年，存放3天的标准试块被要求承受每平方英寸300磅，7天则为每平方英寸375磅。

487

20.8 混凝土：普通的和加钢筋的

罗马人使用石灰混凝土，有时是以薄浆或湿砂浆的形式倒入或覆盖在一层碎石或碎砖上，有时用的是石灰、砂子、碎石（砖）和水的混合物。整个中世纪，人们就一直断断续续地使用着这两种方法。如第Ⅲ卷和第Ⅳ卷所述，作为桥梁基础的一种材料，以及作为19世纪初公用建筑物基础的一种材料，石灰混凝土具有某种重要性，但是这在英国被认为是很新颖的。法国工程师普遍使用由水、水硬石灰或天然水泥制成的混凝土，去作为海堤和防波堤中的黏结物。

1835年，大体积混凝土被用来修筑格林尼治铁路线上的桥基和伍尔维奇以及查塔姆的海堤和干船坞。在当时，少数建筑物——主要是规模不大的住宅——完全用混凝土建造，但这种做法并没被普及。由于模板需要大量木材，搅拌和浇灌混凝土需要繁重劳动，以及在木板间现场浇筑的混凝土墙的色调和纹理在美观上并不令人满意，使混凝土缺乏吸引力。不过，有一家工厂制造的砌块却获得了某种较好的效果。1832年，兰杰（William Ranger）取得了一种人造石砌块的专利，这种人造石是将沙子、石灰及沸水放入木模铸造出来的，他将它们用于布赖顿和伦敦林肯律师学院广场的外科学院的扩建上。

488

大约从1850年起，无论在何种用途上，波特兰水泥比其他人造水泥、天然水泥、水硬石灰都更受欢迎。混凝土要由人在平板上混合搅拌其原料，为了很好地完成这一工作，要将一批原料在干燥情况下翻动3次，然后一边用莲蓬式喷嘴加水、一边翻动，也是3次。只有在非常大的工程中，才用蒸汽机驱动的机械完成此项工作。水泥混凝土不能像石灰混凝土那样可以长时期放置不用，因为混合后大约不到1小时就会变硬而无法使用。

混凝土可以作为砖石结构的一种替代品来使用，或者说它实际上也是一种砖石结构。同其他砌筑结构一样，混凝土具有高抗压性，但抗拉能力差。苏夫洛（Soufflot）试图克服砖石结构的这一弱点，把铁

筋埋入砖石工程的结合面处，但这既不方便又不经济，而且暴露于风雨之中的结合处很难避免和潮湿空气接触，结果铁材的锈蚀和膨胀将使砖石结构遭到破坏。布律内尔等人在砖砌构件上使用铁箍的做法，也有这样的危险。然而，在浇注混凝土中埋入铁筋并不困难，何况优质的波特兰水泥混凝土实际上是能防水的。随着对波特兰水泥越来越有信心，人们期待尝试着把它与铁结合使用，而且有人确实这样做了。1848 年，法国工程师朗博（J. L. Lambot）建造了一艘用铁筋网加固的混凝土划艇。它在 1855 年巴黎万国博览会上展出时，引起了人们极大的兴趣。朗博在法国取得了这种在建筑物上混合使用铁和水泥以代替木材的专利，而且在英国（1855 年）取得了临时专利，但他此后似乎并没有进一步发展这一专利。

另一个法国人莫尼耶（Joseph Monier，1823—1906）则比较执着。1849 年，他从栽种橘树用的铁筋网混凝土盆开始，把兴趣扩大到便携式容器及其他物件上，并取得了一些专利（边码 502），其中最重要的是钢筋混凝土梁（1877 年）。

与此同时，泰恩河畔纽卡斯尔的建筑师威尔金森（W. B. Wilkinson）用预浇注的石膏灰泥镶板拼成大面积平板，来作为天花板和一种混凝土甲板的永久性模板（图 261）。他在两块相邻的镶板之间留下间隙，在其底部填入一种粗灰泥，并在粗灰泥中埋入一根铁筋。

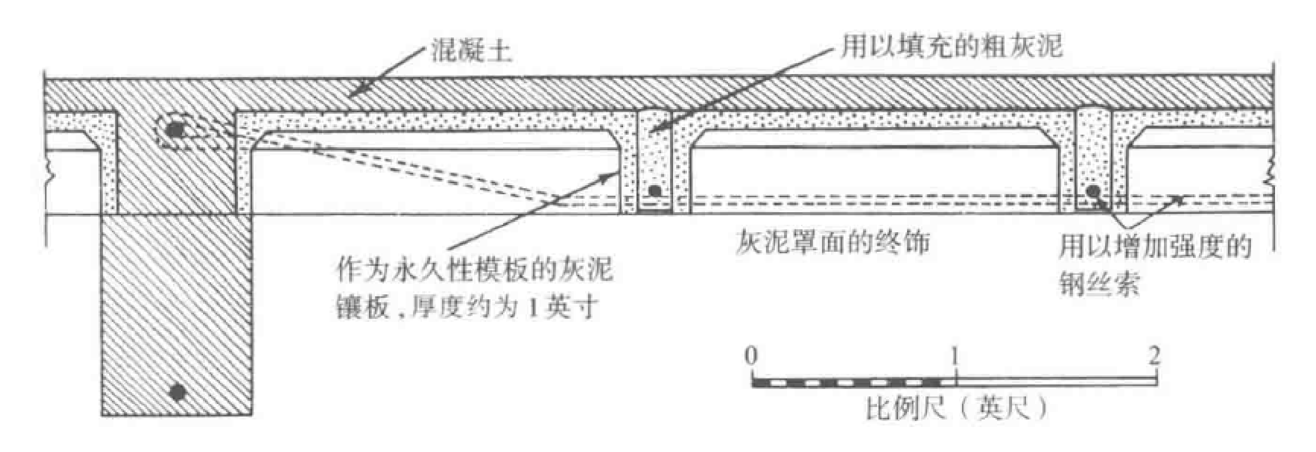
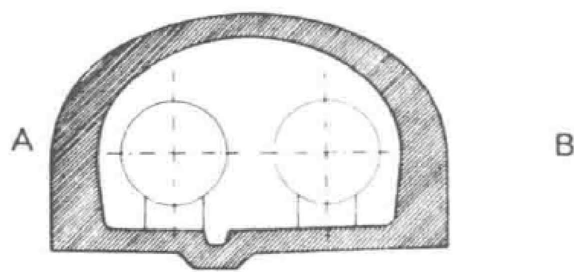


图 261 威尔金森的天花板和地板构造，1854 年。

他在整块平板上铺上了波特兰水泥混凝土，主梁由混凝土制成，并用旧的采矿钢丝索来增加强度。1854 年，他获得了这种方法的专利，但其应用似乎时间不长而且仅限于当地。

另一位重要的先驱者是夸涅（François Coignet）。他一开始感兴趣的是一种掺有白榴火山灰材料和石灰以及石灰的一种酸性磷酸盐的混凝土混合物，后两种成分既能提高表面硬度，又能通过降低混合物的碱性使表面适于涂刷。顺便提一句，他的专利包括“在倒入模板的混凝土里埋入梁、铁板或铁筋方网”以形成地板。1861 年，他写了一篇回忆录，在里面似乎预见到钢筋混凝土的大多数现代应用的可能性，但是他没有任何理论基础把工作继续下去，因此也没有试图去设计那些他已预见到可能性的建筑结构，而只能把它们提出来。从 1890 年开始，他的儿子埃德蒙·夸涅（Edmond Coignet，1850—1915）获得钢筋混凝土在管道、渡槽、隧道、预制梁、桩和板桩方面应用的专利。1892 年，他成功地说服了有关当局采用钢筋混凝土薄壳建造巴黎的主下水道，代替了原先想采用的厚重的砖石结构。图 262 显示了两者的对比结果。夸涅设计的下水道的壁厚只有 $3\frac{1}{8}$ 英寸，但后来它们能承受约 15 英尺厚的泥土[16]。

如果美因河畔法兰克福的魏斯和弗赖塔格公司（Wayss & Freitag）的魏斯（G. A. Wayss）没有对开发钢筋混凝土制品感兴趣的话，那么说法国的莫尼耶比威尔金森做得更好也许是值得怀疑的。



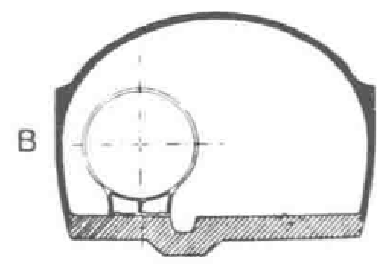


图 262 巴黎下水道截面对比图。（A）原先建议使用的砖石结构；（B）夸涅的钢筋混凝土结构，1892 年。

1855年，魏斯获得了在德国使用莫尼耶各项发明的权利，这无疑鼓舞了莫尼耶继续深入研究。魏斯的公司开发了一整套钢筋混凝土结构，应用在许多构造上，其中包括跨度大至约120英尺的拱桥。此外，他们还委托克嫩（Mathias Koenen，1849—1924）研究出用精湛的力学原理阐明这种结构的理论。1887年，克嫩的理论在《莫尼耶方法》（*Das System Monier*）一书中发表，从而引起了几所德国理工学院教授们的兴趣，这些人进行了大量实验，最终形成了一个切合实际的理论。埃德蒙·夸涅本人也对理论感兴趣，并且与泰代斯科（N. de Tedesco）合作，在1894年向法国土木工程师学会（Société des Ingénieurs Civils de France）提交了一篇论文，论述通过计算钢筋混凝土结构单元进行设计的问题。听取这篇论文报告的人当中，几乎无人能对之进行讨论，因此这篇论文没有得到什么重视，不过一个官方的委员会从1892年到1900年潜心研究了其中使用的计算方法。

490

夸涅的主要竞争者是埃内比克（François Hehnebique），他在1892年取得了一种钢筋混凝土梁的专利，其主筋端部为鱼尾形，剪切力由铁箍的垂直箍筋承担，这些细节坚持采用了数十年。大约到1898年，他已开发出一个关于立柱、梁、楼板、墙壁的完整的建筑结构系统。这一系统由穆谢尔（L. G. Mouchel）引入英国，后者于1897年在伦敦开办了事务所。直到1904年夸涅也开办了一个事务所，穆谢尔才有了竞争对手。除威尔金森外，还没有人在穆谢尔之前为把钢筋混凝土结构引入英国做过认真的努力。海厄特（Thoddeus Hyatt）曾为穆谢尔在伦敦的柯卡尔迪（Kirkaldy）的实验室做了一些试验，但他随后去了纽约，并于1877年在那里私人出版了一本书，概述了一个关于比以往任何产品都先进的钢筋混凝土的理论。1878年，他取得了他的结构系统的美国专利，但似乎没有什么结果。另一位英国人兰塞姆（E. L. Ransome，1844—1917）取得了更大的成就，他的父亲是伊普斯威奇的兰塞姆氏和西姆氏炼铁厂（Ransomes & Sims）的主管。1870

年，父亲派到旧金山去销售人造磨石，在那里发现了用铸铁梁或熟铁梁、砖拱或混凝土拱建成的工厂，就像在英国的据说能防火的工厂一样。他用嵌在混凝土中的从墙到墙的铁系杆代替铁梁，以跟拱肩中的混凝土共同起作用，形成一种复合梁，这样就大大减少了梁中铁的重量。1888 年，他用钢筋混凝土梁、拱形楼盖及铸铁立柱建造了他的第一座重要建筑。然后，他又研制成功一种预制的钢筋混凝土梁构件，其主筋在底部，螺旋形铁丝半埋入其中以砌合混凝土板坯，现场浇灌后就跟梁形成了一块完整的楼板。这就是兰塞姆于 1902 年在美国获得专利（No. 694577）的构件单元系统的主要项目。1903 年，他在宾夕法尼亚州的格林堡（Greenburg）建造了第一座混凝土框架结构的建筑，由此奠定了他在美国作为此类结构的先驱者的地位[17]。

491

到 1900 年，钢筋混凝土结构在西欧已占有重要地位，在英国和美国也有了良好的开端。这些结构的设计在很大程度上是以经验为依据的，而且每一个结构系统的设计者都有自己的设想。土木建筑行业对此兴趣不大，确切地说是还有些怀疑。这种设计虽然已经引起了立法机构的全面注意，但他们并未为制定适当的法规做好准备。在铁筋上加以合适的覆盖物，可使钢筋混凝土建筑物具有令人满意的防火性。对户外工作来说，混合物要制作适当并在应处位置上夯实，铁筋要被厚实的混凝土很好地覆盖，这是非常重要的。在早期工作中，由于专家们全力以赴，这些要求都能被给予充分的重视，在半个世纪乃至更长的时间里，建筑物仍然牢固。但是在后来的工作中，由于对这一要求已经很熟悉，人们就放松了警惕，结果并不令人满意。

20.9 结构理论

在一本标准教科书中（1826 年），纳维（C. L. M. H. Navier，1785—1836）描述了梁如何承载载荷，以及如何在载荷作用下变形的理论。

这一理论由伯努利(Jakob Bernoulli)、欧拉(Leonhard Euler)和库仑(C. A. Coulomb)予以发展(第Ⅳ卷，边码479)，现在仍在讲授。只有当梁是由铸铁做成的时候，其截面上中性轴(受拉和受压部分的分界线)的确切位置才十分重要，因为铸铁材料能承受较大的压力，但只能承受小得多的拉力。正如霍奇金森(Eaton Hodgkinson，1789—1861)在1831年指出的那样，两端没有作用力时，中性轴将通过梁截面的矩心。通过研究已有的实验结果并亲自进行了许多试验，霍奇金森又得出了一个切实可行的柱理论，并经戈登(Lewis Gordon)和兰金(W. J. McQuorn Rankine，1820—1872)修改，在19世纪余下的时间中一直是标准理论。兰金的《应用力学》(*Applied Mechanics*)(1858年)和其他著作，给英国工程师提供了第一批综合的教科书，它们可与法国纳维的著作相媲美，权威性在19世纪后期没有受到严峻的挑战。

库仑在1773年曾指出如何测试拱的稳定性，但是必须假设截面形状及虚铰链的若干个可能位置。拱圈的最佳高度及轮廓形状必须由试验确定。工程师们更喜欢直接得出这些方法，但他们最终没能发现。在法国，加里代尔(Garidel)根据库仑的方法列出一些表格，这些表格在莫斯利(Henry Moseley，1801—1872)的英文著作里得到重现[18]。

492

然而，在运河时代建造的所有桥梁和在铁路时代建造的几乎所有砖砌、石砌的高架桥，可能都是依据经验法则设计出来的，并没有数学理论根据。1846年，在讨论一篇由巴洛(W. H. Barlow，1812—1902)在土木工程师学会(Institution of Civil Engineers)宣读的论文时[19]，一些一流的土木工程师作了一些富有启发性的评论。巴洛意识到莫斯利的数学方法很不适于工程师使用，他试图给出一种图解法。斯蒂芬森(Robert Stephenson，1803—1859)认为："这篇论文将解决迄今在用莫斯利教授的计算方法来解决问题时遇到的许多困难，

虽然莫斯利的公式具有高度的科学性，而且无疑是很美的，但对于做实际工作的人来说实在是太深奥了。”布律内尔（I. K. Brunel，1806—1859）认为：“拱不能被当作由水泥集结起来的分离拱楔块的组合体，而是一个均匀的弹性体。”布律内尔的这种观点具有预见性，但当时没有如此处理拱的可行方法。有趣的是，那时提出各种理论或推行各种方法以测定已知或假定比例的拱的稳定性的巴洛等人，感到必须在引人瞩目的单跨长度达140英尺且一个世纪后仍然屹立的“庞特普利斯桥”（Pont-y-ty-Pridd）——一个著名的纤细砖石拱上——试验他们的理论和方法，然而该拱的稳定性竟能弃所有涉及拱的比例的经验法则于不顾（第Ⅲ卷，边码435）[20]。

第Ⅳ卷第15章提到，在1850年前后设计的几个桁架桥工程中，通过分解和合成每个节点上的作用力，解决了如何计算桁架构件上作用力的问题。贝利多尔（de Belidor，1729年）和其他人也提出了类似的方法，但用的是不太通用的术语，一般被认为计算过程有点烦琐费力。但人们很快便认识到，既然每个构件上的力作用在两个节点上，那么不同节点的力多边形就能够合并，实际上整个桁架也就可以只画一个应力图。这种方法在兰金的《应用力学》中被采用了（边码491）。拉伊尔（La Hire）处理载荷链和拱的方法是对应图解法的首个应用实例（1695年，第Ⅲ卷，边码433），并由麦克斯韦（James Clerk Maxwell，1831—1879）在1864年进行了推广[21]。麦克斯韦的方法很难，也许没有几个工程师拜读过发表他论文的杂志——《哲学杂志》（*Philosophical Magazine*）。一直到鲍（R. H. Bow）对图上对应点做了系统的注释，并且用例子表明其方法很容易用于所熟悉的桁架类型，工程师才开始注意它[22]。自那以后，鲍的注释一直是标准性的。

493

然而，图解静力学的全面发展发生于瑞士和德国。库尔曼（Carl Culmann，1821—1881）已经掌握了投影几何。投影几何研究早在

18世纪80年代就由巴黎综合工艺学校（École Polytechnique）的蒙日（Gaspard Monge，1746—1818）创始，由彭赛列（J. V. Poncelet，1788—1867）做了进一步的发展并应用于力学问题，库尔曼则把它应用于铁路桥梁的实际设计中。当联邦综合工艺学校（Federal Polytechnic）1859年在苏黎世建成时，库尔曼被指定为该校的第一位工程学教授。在教学中，他推广了力和连杆多边形图的应用，并把它们用于确定弯矩、惯性矩及截面的其他特性，还用于一种铰接三角构架受力问题的一般解法。在这项工作中，他得到了里特（Wilhelm Ritter，1847—1906）的大力帮助。1882年，里特在接替库尔曼的教授职位，并收集了库尔曼未发表的论文，补充了自己的材料，用四卷篇幅完成了他们的全部论文[23]。库尔曼和里特的工作由其他人进一步发展，特别是德国的莫尔（Otto Mohr）和米勒–布雷斯劳（H. Müller-Breslau）、法国的勒维（Maurice Levy）以及意大利的克里摩拿（Luigi Cremona）。克里摩拿的著作《图解静力学》（*Graphic Statics*）在1872年出版，并由比尔（Hudson Beare）译成英文（1890年）。

在处理框架结构受力情况的图解法中，没有考虑节点刚性。在很长一段时间里，在美国的实际应用中，会提供实际的轴销或铰链以确保运动的某种自由度。在欧洲和英国，杆件通过铆接或用螺栓固定在节点板上而连在一起。但是人们发现，通过精心设计，这类桁架杆件的真实应力状态与由忽略节点刚性的理论计算得到的应力，没有大的差异。然而，有两种结构不能用简单的图解法处理。一种是其稳定性根本不依赖于三角杆件，而是依赖于节点刚度和杆件对弯矩的联合抗力。另一种是其框架中有着比形成简单三角构架所必需的还要多的杆件，因此当一些杆件中有一根或一根以上在静力学上（虽然不是在结构上）是多余的时候，仅从静力学角度考虑，设计者无法确定载荷在这些杆件中如何分配。为处理这种杆件多余的

框架，必须考虑杆件在载荷下的实际伸长、缩短及弯曲。

在这一章中难以简明扼要地阐明用组成杆件的应变来计算结构内部应力的各种方法过程中的主要步骤。笔者已在其他地方试着做了这种阐明[24]，而季莫申科（S. Timoshenko）在其标准性著作里极其详尽地做了这一工作[25]。很明显，带有横梁和立柱的建筑物的框架结构，若没有对角支撑柱，则其稳定性只依赖于夹在一些护墙里的坚固墙壁，或者构件及其连接处的抗弯性。在19世纪最后十年，人们认识到这种结构的重要性，这促使工程师注意到这种以前被认为只属于学院派的数学理论。广义地说，设计部分刚性的、在静力学上多余的或称静不定的结构的大部分方法都是解析的，也就是说设计者首先必须确定各种杆件的截面形状及大致尺寸，然后求出载荷在杆件中如何分配，而在框架变形时，外力所做的虚功由储存在杆件中的应变能予以平衡。

在兰金明确地定义"应力"（stress）和"应变"（strain）之前，从事结构设计的英语撰文者常常含糊地使用这两个术语。应力是力作用在截面上单位面积的载荷，应变是材料在单位长度上的变化量。在正常载荷作用下的结构材料中，由胡克定律可知应变和应力成正比。对任何材料来说，应力和应变的比值都是常数，即材料的"杨氏弹性模量"。

拉梅（G. Lamé）是在庞氏和肖塞氏公司（Ponts et Chaussées）工作的一名工程师，在1833年给巴黎科学院的一份研究报告中，他第一次把虚功原理应用于结构[26]。拉梅还首次提出了当直接应力达到某个值时（现在我们称为极限应力），材料会被破坏。这一方面，追随他的是兰金。与此同时，其他理论也出现了，例如当达到最大应变或最大剪应力时，或当储存的应变能达到某一固定值时，材料会被破坏。在简单的拉伸或压缩条件下，这些理论没有区别，但对更复杂的应力状态，例如同时受扭转和弯曲作用的曲轴，选择哪种

理论就不是一件简单的事，因为要考虑材料的延展性或脆性。在横截面方向，应变和应力的关系比较复杂，视材料在哪一个方向上受挤压的情况而定。如果在纵向上，则横向的膨胀量随材料不同而变化。大部分材料的横向应变是纵向的1/3—1/4。1829年，泊松（S. D. Poisson）注意到了这一关系，因此当这一比值表达为分数时就被称为“泊松比”。

495

在1830年到1860年间，弹性的数学理论被扩展到范围很广的一系列问题上，并从此逐渐影响到结构理论，它的实际应用甚至到19世纪末仍然很少。然而，像虚功原理这类思想的应用和基于应变能的计算方法的使用，通过卡斯蒂利亚诺（A. Castigliano）在1879年发表的论文[27]和莫尔及米勒-布雷斯劳在19世纪末的著作，引起了工程师们的注意。菲德勒（T. Claxton Fidler）的一本名为《桥》（*Bridges*）（1887年）的书，把欧洲大陆的这些工作部分地介绍给了英国的工程师们。最终正是由框架式建筑设计产生出的问题，迫使工程师们在20世纪极其关注基于弹性形变研究的计算方法。

在阐述钢筋混凝土的发展时已提到，用这种材料做早期结构设计的先驱者依赖于直观的结构感觉和简单试验的经验性应用。由于建筑结构越来越庞大、越来越自由、越来越复杂，这种依赖显现出了明显的局限性。若要避免失败，要么是保守而很可能不经济地使用材料，要么设计者必须更确切地知道钢和混凝土结合在一起后的性能如何。人们从克嫩的著作《莫尼耶方法》（边码489）中认识到，温度波动时，钢和混凝土的体积变化如此接近，以致在所有实际应用中对差动引起的应力变化可被忽略。这两种材料之间的黏结力适于传递内力，应该只靠钢来抵抗拉力，因为周围混凝土承受应变时将不可避免地出现裂纹。克嫩把中性轴放于矩形截面梁的中线处，但是纽曼（Paul Newman）指出（1890年），当考虑到钢和混凝土

的弹性模量时，中性轴位置将因内部拉力和压力的平衡而变化。恩佩格（Fritz von Emperger，1862—1942）、鲍申格尔（J.Bauschinger，1834—1893）和其他人，则对钢筋混凝土杆件在载荷下的弹性形变做了更多的试验。1902 年，默施（E. Mörsch）以魏斯和弗赖塔格公司（边码 489）的名义写出了《钢筋混凝土》（*Der Eisenbeton*）一书，公布了该公司全部的试验数据，将这一理论置于一个合理的基础，包括混凝土结构设计在内的普鲁士官方规范也以这一理论为依据（1903 年）。当时，默施正在设计跨度达 200 英尺的钢筋混凝土桥拱。虽然默施的著作向竞争对手披露了原来保密的设计方法，但也增强了公众对他公司工作的信任。其他公司远没有如此丰富的经验或组织能力。

496

埃德蒙·夸涅和泰代斯科（边码 489）认为，如果在混凝土中忽略所有拉伸抗力，库仑－纳维的弯曲理论可近似地应用于钢筋混凝土。具体地说，他们假定弯曲前横截面的平面在弯曲后仍保持为平面，而且材料变形符合胡克定律。他们还假定钢和混凝土的弹性模量为常数，而且称它们的比为“模量比”，这一名称沿用至今。

孔西代尔（A. G. Considère，1841—1914）通过实验表明，如果在简单箍筋立柱的纵主钢筋周围安装间距小的箍筋或一种结实的螺旋铁丝以保护混凝土型芯，则立柱的强度将会大大提高，因为这能防止型芯向外迸裂并把主钢筋推向一边，否则即使在较小的载荷下也会产生这种问题。他找出了所用箍筋与所增加强度的关系。孔西代尔与巴黎老城的工程师梅纳热（A. Mesnager）合作拟定了设计规范，并于 1906 年被法国政府正式采用。

钢筋混凝土的进一步发展超出了我们讨论的时期，但是从 19 世纪末到 20 世纪初，一个主要是经验性地建立在试验结果基础上的切实可行的理论被大部分有经验的设计者颇有信心地接受了。这一理论所依据的假设并不绝对正确，也并非不经挑战就能通过。直到最近一

段时期，在完善理论的同时，未被实践证明为合理的复杂性却增加了，而提高理论精确性的作用在某些方面却远不如混凝土物理特性多变所产生的影响。在对水泥的制造和混凝土的搅拌及浇灌定位实行更严格的控制之前，这无疑是真实的。

相关文献

[1] Giedion, S. 'Space, Time and Architecture', pp. 269 ff. Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1943.
Condit, Carl W. "Engineering in History", *Isis*, **48**, no. 154, p. 485. History of Science Society, Cam- bridge, Mass. 1957.

[2] de L' Orme, P. 'Nouvelles inventions pour bien b *tir* petit frais.' Paris. 1561.

[3] Hitchcock, H. R. *Archit. Rev., Lond.*, **109**, 113–16, 1951.
Bogardus, J. 'Cast Iron Buildings.' New York. 1856.

[4] Bannister, T. *Archit. Rev., Lond.*, **108**, 232, 245, 1950.

[5] Hitchcock, H. R. 'Early Victorian Architecture in Britain', Vol. 1, ch. 10; Vol. 2, Pl. x, 14. Architectural Press, London. 1954.

[6] Lavedan, P. 'French Architecture', p. 149, Pi. xxviii. Penguin Books, Harmondsworth. 1956.

[7] Hall, J. W. *Trans. Newcomen Soc.*, **8**, 43, 1927–1928.

[8] Meeks, C. L. V. *Archit. Rev., Lond.*, **110**, 163–73, 1951.

[9] Giedion, S. See ref.[1], p. 138.
Kirby, R. S. *et al.* 'Engineering in History', p. 322. McGraw Hill, New York, 1956.

[10] Scott, B. *Struct. Engr*, new series, **7**, 102, 1929.

[11] Giedion, S. See ref. [1]. pp. 292 ff.
Kirby, R. S. See ref.[9], pp. 464 ff.
Bossom, A. C. *Struct. Engr*, new series, **7**, 75, 1929.

[12] Hamilton, S. B. 'A Short History of the Structural Fire Protection of Buildings.' National Building Studies, Special Report No. 27. H. M. Stationery Office, London. 1958.
Webster, J. J. *Min. Proc. Instn civ. Engrs*, **105**. Pt III, 249–88, 1890–1891.

[13] Redgrave, G. R. and Spackman, C. 'Calcareous Cements' (3rd ed.) Griffin, London. 1924.

[14] Draffin, J. O. *Bull. Ill. Engng Exp. Sta.*, **40**, no. 45, 14, 1943. (Reprint no. 27.)

[15] Grant, J. *Min. Proc. Instn civ. Engrs*, **25**, 66–79, 1865–1866.

[16] Tedesco, N. de. *Concr. constr. Engng*, **1**, 162, 1906.

[17] Ransome. E. L. and Saubrey, A. 'Reinforced Concrete Buildings.' McGraw Hill, New York. 1912.

[18] Moseley, H. 'Mechanical Principles of Engineering and Architecture.' London. 1843.

[19] Barlow, W. H. *Min. Proc. Instn civ. Engrs*, **5**, 162, 1846.

[20] Hamilton, S. B. *Trans. Newcomen Soc.*, **24**, 131, 1943–1945.

[21] Maxwell, J, C. *Phil. Mag.*, fourth series, **27**, 250, 294, 1864.

[22] Bow, R. H. 'Economics of Construction in Relation to Framed Structures.' London. 1873.

[23] Culmann, C. 'Die graphische Statik.' Zürich. 1864.
Ritter, W. 'Anwendungen der graphischen Statik' (4 vols). Meyer & Zeller, Zürich. 1888–1906.

[24] Hamilton, S. B. *Proc. Instn civ. Engrs*, **1**, Pt III, 374–419, 1952.

[25] Timoshenko, S. P. 'History of Strength of Materials.' McGraw Hill. New York. 1953.

[26] Lamé, G. "Mémoire sur l' équilibre intérieur des corps solides homogènes." *Mém. Acad. R. Sci. Sav. étrang.*, **4**, 465, 1833.

[27] Castigliano, A. 'Théorem de l' équilibre des systèmes élastiques,' Turin. 1879. (See also Eng, trans. by E. S. Ancdrews. 'Elactic Stresses in Structures.' Scott Greenwood, London. 1919.

参考书目

Draffin, J. O. "A Brief History of Lime, Cement, Concrete and Reinforced Concrete." *Bull. Ill. Engng Exp. Sta.*, 40, no. 45, 14, 1943. (Reprint no. 27.)

Gooding, P. and Halstead, P. E. "The Early History of Cement in England" in 'Proceedings of the Third International Symposium on the Chemistry of Cement, London, 1952', pp. 1–29, Cement and Concrete Association, London. 1955.

Fairbairn, Sir William. 'Researches on the Application of Iron to Buildings' (2nd ed.). London. 1857.

Hamilton, S. B. "The Historical Development of Structural Theory." *Proc. Instn civ. Engrs*, 1, Part III, 374–419, 1952.

Idem. 'A Note on the History of Reinforced Concrete in Buildings.' National Building Studies, Special Report No. 25. H.M. Stationery Office, London. 1956.

Hitchcock, H. R. 'Early Victorian Architecture in Britain,' Vols 1, 2. Architectural Press, London. 1954.

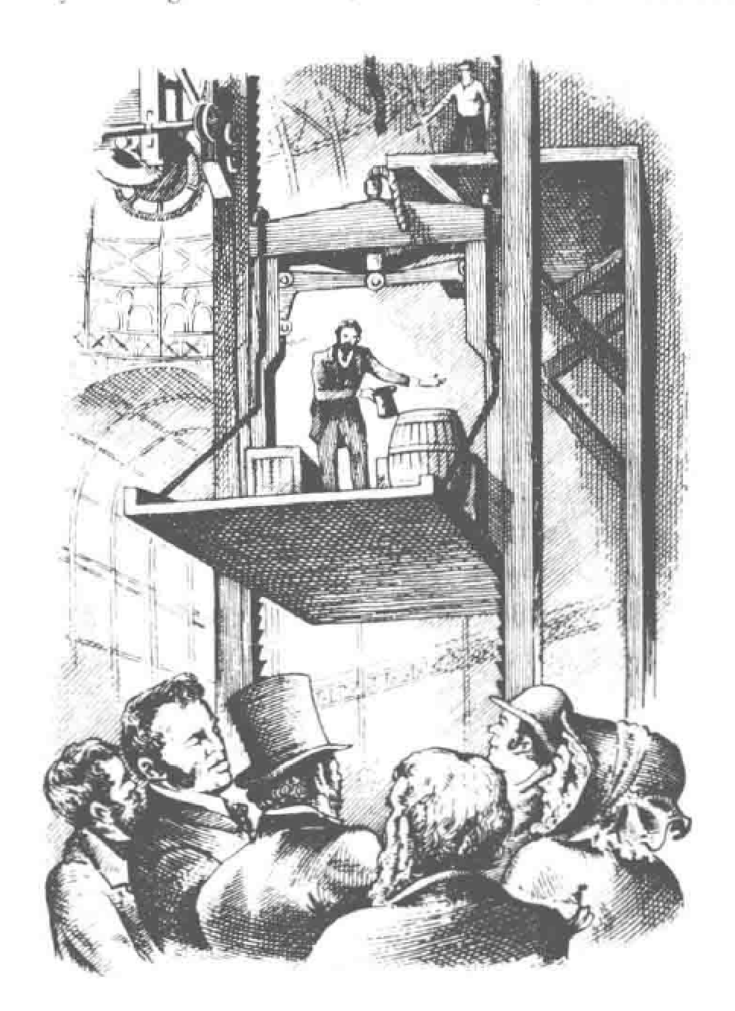
Kirby, R. S.*et al.* 'Engineering in History', chs 10, 14. McGraw Hill, New York. 1956.

Sachs, E. O. (Ed.). *Concr. constr. Engng*, 1, 1906.

Straub, H. 'Die Geschichte der Bauingenieurkunst.' Birkhäuser, Basel. 1949. (See also Eng. trans. by E. Rockwell. 'A History of Civil Engineering.' Hill, London. 1952.)

Timoshenko, S. P. 'History of Strength of Materials,' McGraw Hill, New York. 1953.

498



奥蒂斯正在展示其原创的安全升降机，1854 年。

第21章 桥梁与隧道

H. 雪利·史密斯（H. SHIRLEY SMITH）

499

决定桥梁和隧道建造技术进展的主要因素是可利用的建筑材料、工程师掌握的动力类型和机械种类，以及工程师在设计与材料强度方面的知识范围。在对1850年至1900年间这些因素造成的影响进行考察时，我们看到每个领域都有了显著的进展。

21.1 建筑材料

19世纪中期，使用的材料只有木材、石头、砖、混凝土和铁。隧道环一直用铸铁制作，但在桥梁工程中，铸铁已被熟铁取代。熟铁是在振动搅炼炉中用生铁炼制成的，虽然在同样重量下熟铁较铸铁贵，但它的含碳量少，因此韧性较好，抗拉强度较大，可用铆接法代替螺栓连接法。熟铁板由“束铁”轧制而成，人们将扁铁条拼成相同尺寸的矩形，再一层层地垛起来，用铁丝捆住，使它们在加热时不会散开。各层铁的品质是不同的，硬软交错，精炼与未精炼交错，然后将其热轧成近似矩形的板，再按需要的尺寸剪切。由于大部分工厂都已安装了剪切机和冲床（最初是用来制造船舶和锅炉的），熟铁很快被推广使用开来。1856年，贝塞麦（Bessemer）首次采用把热空气流吹入熔融铁中的方法（以除去一部分碳和杂质）将生铁炼成了钢。9年以后，马丁（Martin）和西门子（Siemens）发明了商业化生产低碳钢的平炉炼钢法。

这种新材料强度均匀、易于加工、价格低廉，给工程技术人员留下了极为深刻的印象。1877年，英国贸易委员会批准将这种钢材用于桥梁工程。8年以后，多尔曼·朗公司(Dorman Long & Company)轧制出第一批钢制托梁，铁桥时代行将终结。

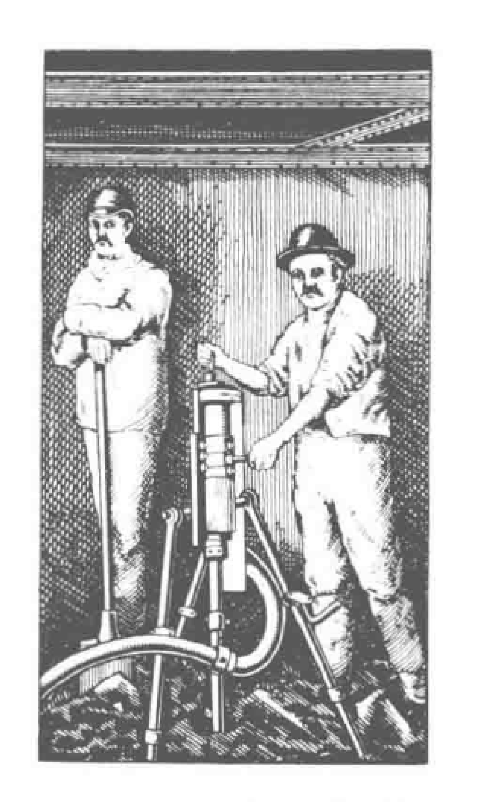


图263 福斯桥沉箱中挖掘用的压缩空气钻岩机。

500

1880年以前，镀锌的铸钢丝已被生产并用来制造布鲁克林桥的钢缆。虽然那时在砖石技术方面并没有取得什么进展，但在1875年还是建成了第一座跨度达到52英尺的钢筋混凝土大桥，从而开辟了下一世纪的所谓“钢筋混凝土时代”。令人有点意外的是，在1900年以后的较长一段时间里，许多重要的桥梁还是将木材用作永久性的结构材料。

21.2 动力与机器

当时正值铁路时代的全盛时期，蒸汽当然是最主要的原动力和驱动力。除了火车头外，还有蒸汽驱动的机车、大型轨道式起重机、桅杆起重机、挖掘机、卷扬机和绞车。直至这一时期末，蒸汽依旧被用来驱动许多加工钢制件用的小型机床，例如钻床和刨床等。在水底隧道与桥基沉箱工程中，气动作业是依靠蒸汽驱动的空气压缩机来完成的。在福斯桥的沉箱内进行挖掘时，用的是压缩空气驱动的钻岩机(图

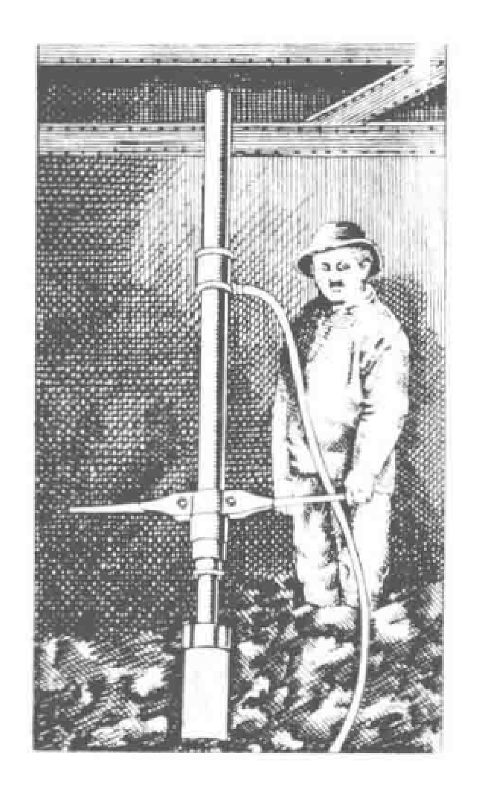


图264 福斯桥沉箱中挖土用的液压泥铲。

263），压缩空气的压强达到每平方英寸 70 磅。为了钻隧道孔，还发明了多轴钻床。包括液压泵、水力蓄压器、水压抽水机、水压机以及液压泥铲（图 264）、液压铆接机（图 265）在内，许多液压机械开始投入使用。煤气灯和油灯被广泛作为照明工具，在建造福斯桥时还使用了“强光油灯”。这种灯利用空气压力将杂酚油以喷雾状压出一个细喷嘴，燃烧时能生成 3 英尺长的火焰，并发出刺眼的亮光。在 19 世纪末以前还发明了电弧灯和白炽灯，第一代电动机业已问世，但在建筑工程中，内燃机后来成为各种机械的原动力。

21.3 设计理论

在这个时期，结构设计理论有了重大的进展。1845 年，斯蒂芬森（Robert Stephenson，1803—1859）仍不得不采用试错法这种经验方法来设计连接安格尔西岛与威尔士本土的不列颠桥。试错法是先做出模型进行试验，对不合格处进行加强，然后再试验，一直到获得比较经济而又令人满意的结果为止。那时虽然已有数学家从事这方面的研究，但几乎没有什么理论可依循。然而 30 年后却涌现出许多理论，其中大部分源自欧洲大陆，并在科学论文和教科书里得到了阐述。正是由于掌握了静载荷、动

501

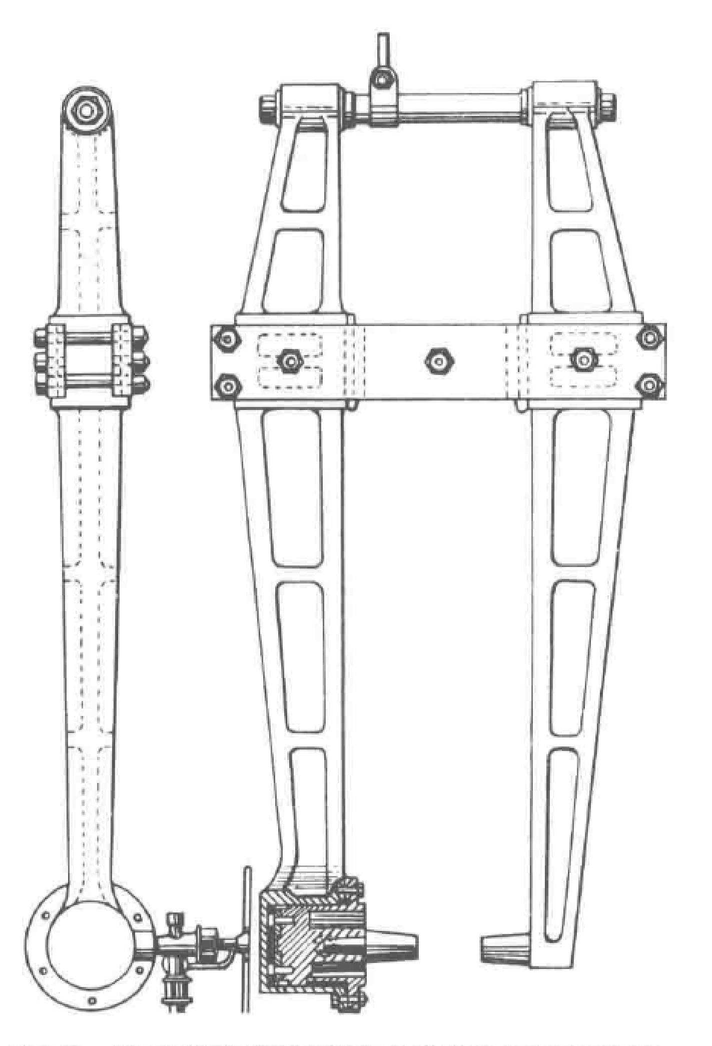


图 265　用于固定福斯桥钢制构件的便携式液压铆接机。

载荷、风载荷和温度变化在桥体各部分产生应力的相关知识，贝克（Benjamin Baker，1840—1907）才能满怀信心地设计出像福斯桥那样的巨型结构。

把科研成果应用于工程实践从而取得巨大进展的功劳主要应归于兰金（W. J. M. Rankine，1820—1872），他从1855年起就在格拉斯哥大学担任土木工程和力学系主任。兰金的著作全面考察了对工程学有重大意义的大多数欧美的数学或技术专著，涉及的课题十分广泛，有热力学、压杆公式、土压力以及梁剪应力的概念等。正是他将应力和应变与它们的技术含义联系在一起（边码494），其关于土压力和材料静止角的理论被长期应用于隧道设计与挡土墙设计中。

欧洲大陆上最著名的科学家要首推苏黎世的库尔曼（Karl Culmann，1821—1881），他研究的结构分析图解法于1864年首次发表在他的《图解静力学》（*Graphic Statics*）中，之后又由米兰的克里摩拿（Cremona）和德累斯顿的莫尔（Mohr）做了详尽阐述。1863年，里特（Ritter）提出了可以用于计算桁架应力的截面法。麦克斯韦（Clerk Maxwell，1831—1879）的研究和鲍（Bow）在1873年提出的标志法，使得工程师们能够画出应力图。1868年，温克勒（E. Winkler）画出了确定动载荷效应的影响线。此外，克拉佩龙（Clapeyron，1799—1864）为解决连续梁问题而精心研究的"三力矩定理"，以及确定框架挠曲度的维利奥（Williot）图解法，也都产生于这个时期。

这一时期还发明了许多像瓦伦（Warren）桁架、普拉特（Pratt）桁架、N型桁架等类型的支撑结构。美国（于1851年建造了第一座大型铁桁架桥）早期的做法是用销子在节点或接头处连接，在欧洲则用螺栓或铆钉完成固定连接，但计算应力时假定接头是用销子铰接的。把接头固定死的结果是在构件中引起二次弯曲应力，这种应力在19世纪80年代曾由曼德拉（H. Manderla）和阿博（C. von Abo）用应变能法进行过研究。1867年，格伯（H. Gerber）在哈斯富特（巴伐利亚州）的

502

美因河上建造了第一座由一系列交错的连续跨和悬臂跨组成的铁制悬臂梁桥。

在砖石结构方面，温克勒和富勒（Fuller）发明了在拱结构上画推力线的图解法，兰金公布了他的“中间三分之一”原理[1]。1867年，法国的莫尼耶（Joseph Monier）取得第一个钢筋混凝土的专利，而德国工程师克嫩（M. Koenen）以及随后的纽曼（P. Neumann）和夸涅（E. Coignet）则研究出复合结构理论并提出数学分析和设计方法（边码489）。

在隧道构筑方面，奥地利工程师冯·日哈（Franz von Rziha，1831—1897）率先发表了隧道构筑的基本科学原理。此前，这项工作主要依靠现场从事实践的工程技术人员来完成。

风压实验 1850年，人们还没有认识到活动荷载、冲击以及风力对桥梁的影响，因此导致了许多失败。其中，风力的影响就被大大地低估了。工程技术人员仍然按照1759年斯米顿（Smeaton）向皇家学会提交的风压表上的数据考虑问题：

“疾风”时，每平方英尺6磅；

“极大疾风”时，每平方英尺8磅至9磅；

“暴风”时，每平方英尺12磅。

1879年，第一座泰湾大桥（Tay bridge）的失败暴露了在考虑风力因素方面的设计缺陷。有鉴于此，贝克在1883年进行了一系列综合试验，以确定在设计福斯桥时应计入的风压值。他在中央桥墩所在的因奇加维岛（Inchgarvie）那座古堡上安装了3个风力计（压力板），大的压力板的面积为300平方英尺，沿南北方向固定，面对东西方向的风，两块小压力板的面积为1.5平方英尺，一块固定，另一块可以自由旋转。这些风力计采集了两年的数据。此外，他还用模型

503

1 这是一条大家熟知的、有关不能承受拉伸的砖石结构的定律：在一个矩形接头上，合推力必定落在距接头中心线1/6厚度的范围内，也就是“中间的1/3”范围内。这条定律由纳维（Navier）于1826年推得，由梅里（Méry）于1840年独立地导出。

做了进一步的试验，以确定一个桁架对另一个桁架的防护度以及风力对箱形支撑梁和管状构件的影响。贝克说，他“设计了一个很简单的摆装置，这个装置实际上是一根横梁，其中一端装有一个模型，另一端则装有一个等重的可调平板，横梁在中部吊起来，使得阻止它转动的力只有吊绳的扭力。在这个摆摆动时，如果平板和模型所受的力不完全相等，就会有一端前移”。在对所有的试验进行认真分析之后，福勒（Fowler）和贝克一致认为，必须允许每平方英尺 56 磅的风压作用于相当于结构正面面积两倍的面积上，如果是管状结构则可减少 50% 的风压。这与泰湾大桥倒塌后贸易委员会的事故处理小组所提出的意见相一致。不过，福勒和贝克认为，“对整座桥来说，每平方英尺要承受 56 磅压力的假设是大大超越现实的”。这个观点被现代的研究结果所证明，合理的风压值约为每平方英尺 34 磅。

21.4　经典桥梁的设计与建造

（ⅰ）不列颠桥　不列颠桥建成于 1850 年，把这座桥的设计和建造方法同 35 年后设计、建造福斯桥的方法进行比较研究是很有启发的。为避免英国海军部和海运界对由一系列桥拱组成的桥的反对，斯蒂芬森认为，强化桥面以让火车能够快速通行的悬索桥将是最有前途的桥梁设计方案。他由此产生了一个设想，那就是将成对的巨型熟铁管在两边用吊索吊起，让火车从中通过。刚刚研制成功的船用优质熟铁板和型材，无疑有助于实现这个设想。与斯蒂芬森合作的费尔贝恩（William Fairbairn）在他位于米尔沃尔的船坞里制作出了模型管道并做了试验，数学家霍奇金森（Eaton Hodgkinson）则协助解释和应用了试验的结果。这样的试验用圆管做了 12 次，用椭圆截面的管道做了 7 次，用矩形截面的管道做了 14 次，管道的尺寸和跨度（全长）各异，而且用不同厚度的板制成，但所有的管道都进行了跨度中点集中载荷的破坏试验。试验表明矩形截面的管道最坚固，因此最后一系

504

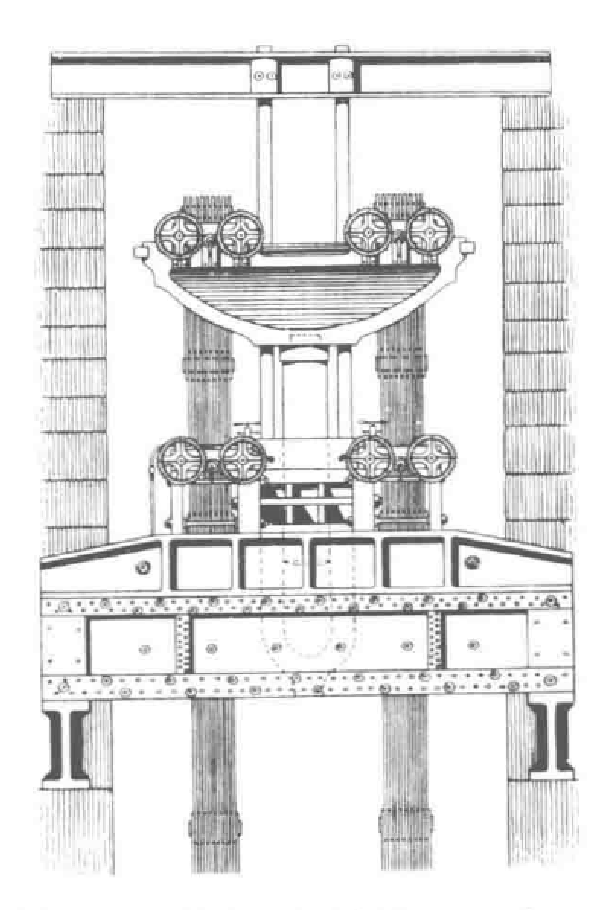


图 266　用于抬升不列颠桥管道的液压千斤顶。

列试验是在一个相当于实际尺寸1/6的大型矩形截面的管道模型中进行的。用这种模型做了6次试验，结果表明，只要增加20%重量的材料，管道的承载能力就能增加近2.5倍。据工地工程师克拉克（Clark）记录："在一个甚至比在桥的整个长度上到处都有两列机车还要重的载荷作用下，这个模型终于因顶部被压到而毁损了。"

这座桥梁共有4跨，每跨由并列的两个管道组成，越过水面的两跨的长度均为459英尺，延伸到陆地的两跨的长度均为230英尺。每个管道中部高达30英尺，宽达14英尺9英寸。为加强管壁以防弯曲变形，顶部和底部都做成蜂窝结构。在不列颠桥塔处用的是固定支座，但为适应随温度变化而产生的伸缩，管道在另外两个桥塔和桥台上用的是活动支座。

在给出的报价单上，吊索的制造费用出人意料地高。斯蒂芬森从一开始就怀疑这种吊索在有助于安装管道外是否还有其他作用，因此他寻求另一种完全不用吊索的安装方法。于是，克拉克建议用浮桥托起管道，再用液压千斤顶将管道提升到最终需要的高度，这个方案被接受了。现场建起了车间，陆地部分的管道在临时木制台架上按设计高度就地安装，跨越水面的管道则在水边的台架上建造，熟铁板和型材用龙门起重机吊运，铆钉则多数用费尔贝恩设计的液压铆钉机打入。每个总装成的管道重1285吨，涨潮时用浮桥运出（图版29），退潮时就落在砖石塔上的凹槽里，然后用装在塔顶附近的立式液压千斤

顶（图 266）把它慢慢抬升到指定的高度。千斤顶的冲程为 6 英尺，升起管道时的速率为每分钟 2 英寸。每个管道的这道工序都要耗时几星期，工作中也无法保证不发生意外。当升起第一个管道时，一台千斤顶油缸的底部胀裂并脱开，管道这一头下落了 10 英寸，重重地砸在跟随升高的垫木上。离管口 40 英尺处的管道底板受压内凹，但损坏部分很快就被修复，再经过两个多星期的小心提升，管道终于安装到位。 505

虽然当时人们对于桥梁的理论了解不多，但斯蒂芬森很清楚，只有在刚开始时给予支撑点一个负力矩，管道才会像连续梁那样充分发挥其承载能力。因此，他在将管道近端铆到塔上的接合块上以前，先将管道远端略微抬起，铆接完后再将远端放到永久性的承座上，这样就会对塔产生一个负力矩。不过，由于未能精确算出力矩的值和相应的挠曲值，斯蒂芬森没有完全达到目的，跨中部的力矩仍然大于作用于支撑点的力矩。

不列颠桥代表了桥梁建造方面的突破性进展，在这之前最长的熟铁桥的跨度只有 31 英尺 6 英寸。此外，不列颠桥还是今天全世界到处可见的成千上万座板梁桥（最实用的铁路桥）的先驱。这座桥至今仍在使用，除少量维修外没有进行过任何改建，并能承受比 100 多年前设计时所规定的要多得多的运输量。

（ⅱ）福斯桥　福斯桥（1882—1890 年）共使用约 5.4 万吨西门子–马丁平炉钢，这是第一座钢制长跨度铁路桥。英国贸易委员会规定材料的工作应力不得超过极限强度的 1/4，但没有作出更具体的规定。于是，设计师们决定受压件钢材的拉伸极限强度应为每平方英寸 34—37 吨，拉伸件钢材则为每平方英寸 30—33 吨。这样，造桥所用的钢要比现在生产的商品低碳钢（极限强度为每平方英寸 28—32 吨）强得多。自斯蒂芬森时期以来，造桥技术还取得了另外两项进步，一是所有铆接孔都用钻孔取代了冲孔，二是每块板的边缘都要刨平，去掉剪板时形成的毛边。这座桥的钢制构件，都是在南昆斯费里占地 506

50 英亩的专用机械加工车间和工厂里制造的。

1884 年，贝克写道：

> 工厂共有 14 艘蒸汽驳船、汽艇和其他船只，22 台蒸汽起重机，12 台液压起重机和 38 台手动起重机，供机床、液压机、空气压缩、电照明、压力泵和其他方面使用的共有 28 台单发动机和双发动机，还有加热钢板用的燃气炉，一台折弯钢板用的 2000 吨液压机以及刨床、多轴钻床、液压铆接机和其他数不清的专用工具。

最大的承压构件被设计成直径为 12 英尺的管状支柱，用厚达 1.25 英寸、宽约为 4 英尺 6 寸、长约为 16 英尺的钢板制成。为了制造这些构件，有待折弯的钢板大约有 42 英里长。把热钢板在 2000 吨液压机上折弯是最好的加工办法，然后在冷却状态下做校直挤压。用一般处理方法刨平钢板的侧面，曲边端头则用径向加工机修平。然后装上内部加强件，绕在心轴上组装成临时管道，同时在钢板、盖板和杆上钻出铆接孔。4 个环形钻孔导架围在管道外部，每根管道使用 10 台负责钻孔的横向钻床。导架沿钻孔场上的铁轨移动，在铁轨上能一次钻完 4 节长度为 400 英尺的管道上的孔。

钻完孔以后，这些构件被拆下，然后再一块一块地装到桥上。安装时，使用一台 2 吨液压起重机，起重机装在已安装好的构件顶部，一边向前移动，一边吊装前面的钢制件，铆接则由起重机下方的液压机进行。安装由格构箱、支撑梁和连系材组成的上梁时，使用了轻型蒸汽起重机。它们被装在横跨桥宽的托架上，后面跟着

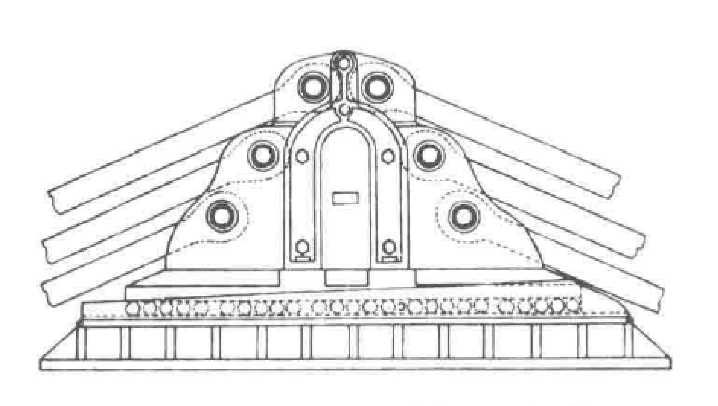


图 267　克利夫顿吊桥上链节和支架的连接机构。

配备了铆接机的液压起重机。

安装钢制件的工作在每根主梁的两侧同时向外进行，这样可使两侧的重量大致保持平衡（图版 28）。刚装上的钢制件由已安装完毕的构件来支撑，因此不需用台架。每个长达 1710 英尺的主跨，都由两个 680 英尺长的悬臂梁和悬臂梁之间 350 英尺长的悬跨组成，当时决定从悬臂梁两端各建半个悬跨（悬臂梁的延续）直到它们在主跨中央合龙为止。工程师们相当大胆地利用太阳的热量完成悬跨的合龙，经过计算，主跨中央接头搭接板上的螺栓孔在 60ºF 时正好对准，装上螺栓就可以完成连接任务。但由于工期拖延，第一跨到 10 月才竣工。悬跨合龙的这一天，天气晴朗，气温却升不到 55ºF 以上。工程师们利用水压机活塞把西头下桁接头上的孔对好，插入螺栓，但寒冷的东北风使得东头梁上的孔总是对不准。这时，工程师们显示出他们的聪明才智，沿下桁架两边各铺了 60 英尺长的木刨花和浸油棉纱头，随后点燃起来，钢制件受热后迅速膨胀了最后的 1/4 英寸，孔对准了，螺栓装进去了。第二天，扣合上桁架承压连接件的楔块被打了进去，随后拆除悬跨端头的临时系材，主跨悬起，合龙终于顺利完成。

（ⅲ）克利夫顿吊桥　现在我们将视线从梁式桥和悬臂式桥转到英国在这一时期建造的一座非常有意思的吊桥，即由布律内尔（I. K. Brunel，1806—1859）设计的横跨埃文河谷、跨度为 702 英尺的克利夫顿吊桥[1]（图版 30）。用洛摩尔炼铁厂（Low Moor）的熟铁制作的悬链，是从泰晤士河上的第一座桥亨格福德桥拆下并在 1862 年重装到克利夫顿吊桥上的，每个链节都用每平方英寸 10 吨的应力进行过试验。40 年前，建造梅奈吊桥的特尔福德（Telford）法是先将悬链全部做好，把它们拉过水面，再提升到相应位置上。克利夫顿吊桥则是在河谷上建起一个临时吊架，在吊架上将悬链一节一节地装配起来。这

1　这座桥是布律内尔在 1831 年设计的，但在他去世后才建成。老亨格福德吊桥是他在 1841 年至 1845 年间建造的，1862 年被拆除，以便给建造查灵十字路（Charing Cross）火车站让路。

种临时性吊架被称为“猫道”(catwalk)，它们一成不变地沿用至今(建造吊桥时)。临时吊架由8根铺上横板条的铁索组成，吊在要装配的悬链下方。链节由长度在24英尺以上的平板制成，用螺栓连接(图267)，装配时从桥两端向中央进行，由沿架空缆绳移动的小型吊车运送，装配好的悬链则用吊架上的垫木支住。每根悬链的最后一个链节装配完成后，将垫木打掉，悬链即成自由悬挂状态。竖直杆吊被悬挂到位，横梁也由沿着铺设桥面用的车行道运行的小型移动式起重机吊装到位。为防止风的影响，车行道采用了4根纵向扶强熟铁撑杆，此举非常有效。一位观察者说，即使在最猛烈的风暴下，“结构也只产生缓慢而稳定的运动”，铁轨在平均位置上的起伏运动不会超过6英寸。

(ⅳ)尼亚加拉河大干线铁路桥 悬索桥建造技术的最重大的成就是由罗布林(John A. Roebling，1806—1869)在美洲创造的。在他以前，悬索桥用的吊索都是仿照欧洲的方法，由几股钢缆绞在一起制成，然后拉过桥跨并连在桥上。然而，罗布林发明了“编缆法”，制造吊索时使用许多平行钢缆，不经绞扭，而是在现场一根一根地用软

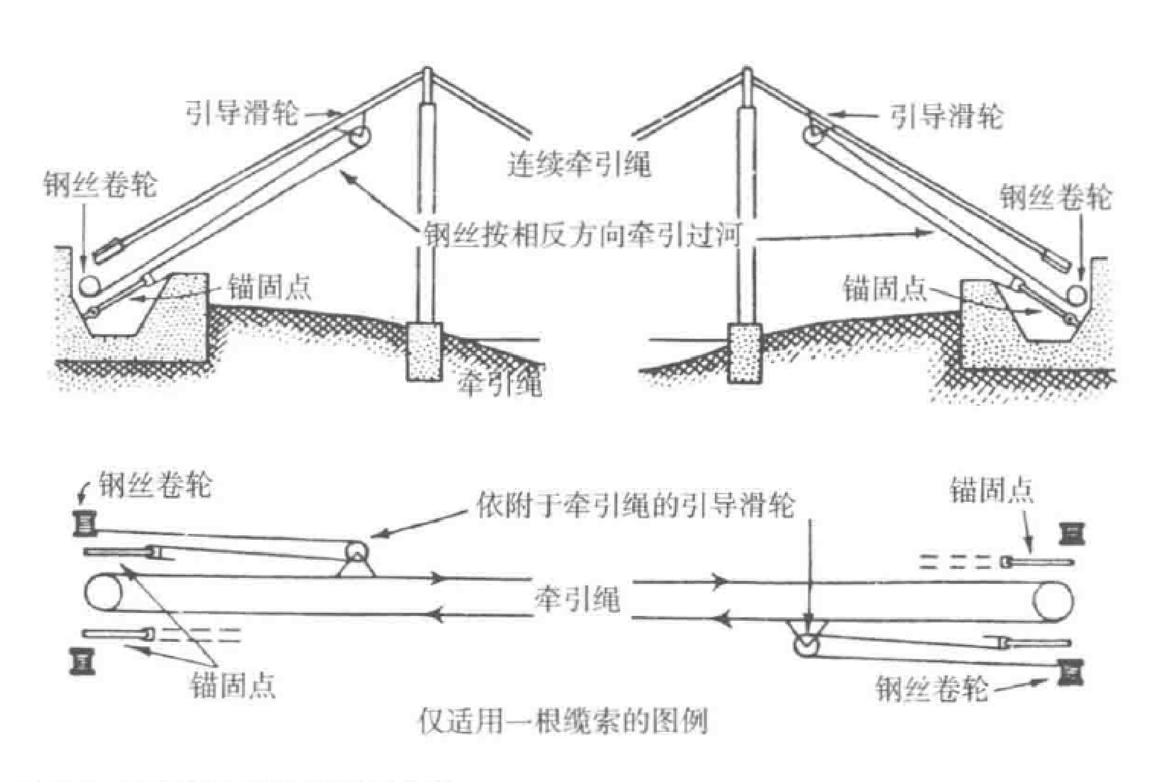


图268 罗布林发明的编缆法示意图。

钢丝“纺”(缠绕)成既结实又张力均匀的聚束。1841年3月，他申请了专利，这种方法在高架渠和短跨桥上得到了成功的应用。但直到1855年，由他设计的尼亚加拉河大干线铁路桥建成时，他的发明应用于大型桥梁上的可行性才得到证明。

这座大干线铁路桥是双层桥面结构，从砖石结构塔中心起算跨度为820英尺，上层为单行铁路，下层为公路。它是第一座成功经受住铁路运输时的集中载荷和冲击的吊桥。4根主吊索由平行的熟铁索组成，每根直径为10英寸。上下桥面间的扶强梁高达18英尺，桥面上下都用斜拉索固定，以防桥面在风力作用下做起伏运动。 509

12年以后，罗布林被任命为设计和建造纽约著名的布鲁克林桥的总工程师，他采用同样的方法制造吊索，不过在最后一刻决定改用极限强度为每平方英寸71.5吨的镀锌铸钢丝。从那以后，尽管有许多改进并使用了机械化设备，但美国建造的所有大型吊桥基本上都采用了罗布林发明的“编缆法”(图268)。将数百大卷粗约0.19英寸的钢丝运抵现场，并将其相继固定在桥两端的锚地上，将钢丝套从卷筒中拉出，通过固定在环拉索上的带槽滑轮越过塔顶的专门托架径直拉到另一端锚地。每个钢丝套到达桥的另一端后，即被人从滑轮上取下并套在一个“锚固点”上，“锚固点”与锚地连接，滑轮回程时拉回另一股缆绳，编缆过程就这样进行下去。站在“猫道”上的工人在桥的中跨和两边跨按照固定的导引绳调整钢丝位置，从而保证它们的下垂度完全相同。把所有钢丝装完挤实后，用软钢丝把它们捆扎成坚固的聚束。图269示出了布鲁克林桥的一根缆绳在挤实和初步捆扎时的情景。 510

(v)圣路易斯桥 无论是不列颠桥那样的梁式桥桥跨整体吊装的方法，还是福斯桥那样的大型悬臂桥构件建造并且自支撑在桥墩上的方法，以及由链节或钢丝构成的桥索的组装方法，我们现在都已经有所了解。早期的铁拱桥——例如由伊兹(James B. Eads)设计并建造

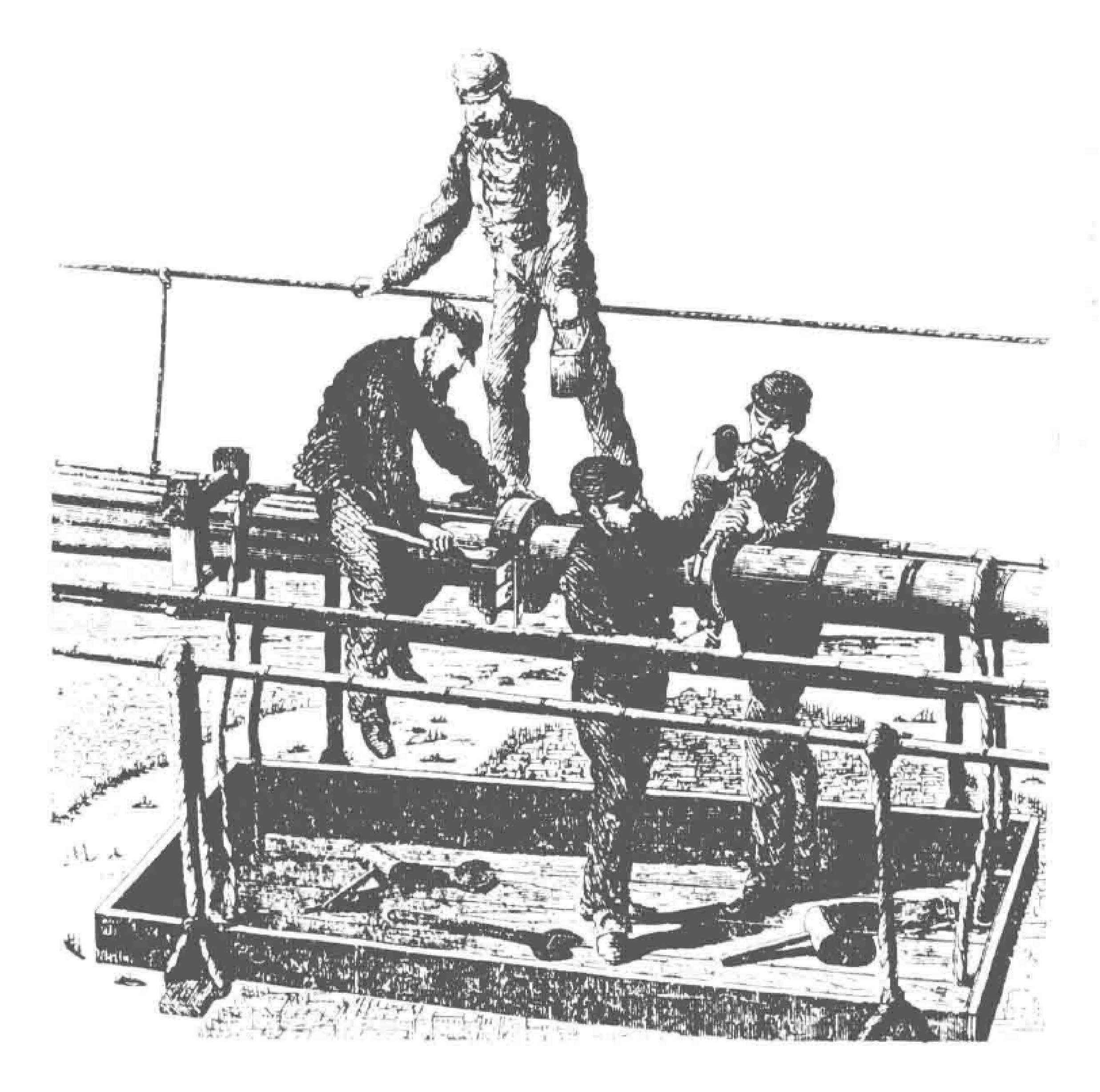


图 269　布鲁克林桥上缆绳的挤实和初步捆扎。

的、横跨密西西比河的圣路易斯桥（1867—1874 年），在建造时所涉及的则是另一些问题。这座桥由 3 个拱组成，中间拱的跨度为 520 英尺，两旁的拱跨度各为 502 英尺。它是双层桥面，上层为公路，下层有两条铁路线。之所以有必要提及圣路易斯桥，是因为它是第一座用悬臂法建造的大型拱桥（图 270）。每个半拱先暂时用通过桥墩塔顶的缆绳吊住，直到它们在中间合龙并连接起来。建造能支撑住大跨度铁拱的台架不仅难度大，而且也不经济，所以除了环境极为特殊的贝永桥以外，此后建造的所有大型钢拱桥都采用了悬臂法。采用悬臂法安装时，悬臂的上桁弦要承受拉伸力，因此这种方法不适合只能抗压

511

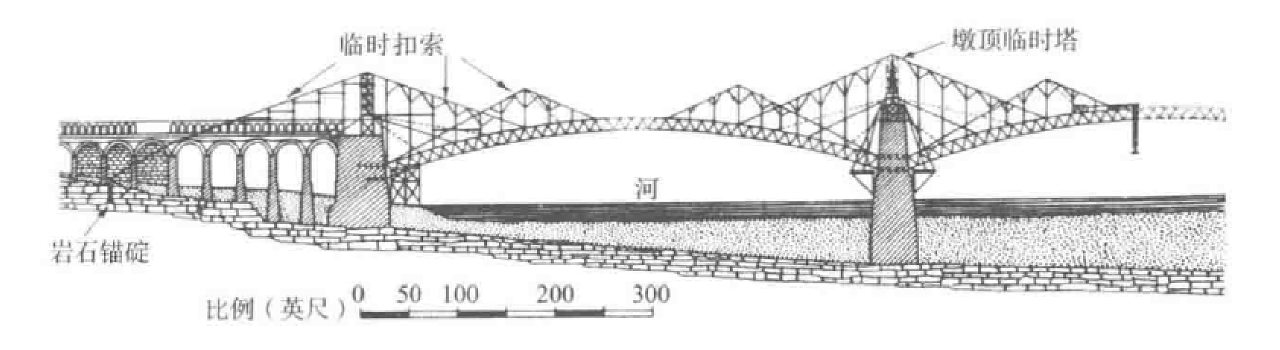


图 270　建造圣路易斯桥时采用的悬臂法。

力的砖拱或砖石拱，这种拱必须用拱架支撑。

21.5　砖石混凝土桥

自远古以来，在建造砖石桥时就需要有临时台架或拱架，在桥拱建成和能自行支撑以前，这些支架显然是不能拆除的（第Ⅲ卷，第 16 章）。图 271 和图 272 展示出了卢森堡宏伟的阿道夫桥（Pont Adolphe）（1899—1903 年）的正视图以及用于安放拱圈的砖石拱楔块的临时拱架结构。这座桥的主拱跨度为 84.65 米，拱架包括木制桁拱，每个节点处都用缆绳将两头拴住（图 272）。台架下面的肋拱的一端支撑在临时桥墩上，拱架在临时桥墩之间作为自支撑式结构向前延伸。这类所谓“悬吊”起来的拱架，在因桥梁跨越深谷或河流而导致临时桥桩或栈架的建造成本太高时采用。要使砖石拱的拱架便于拆除，可采用螺旋千斤顶、砂箱千斤顶或松紧楔。为节省砖石，阿道夫桥以双拱的

512

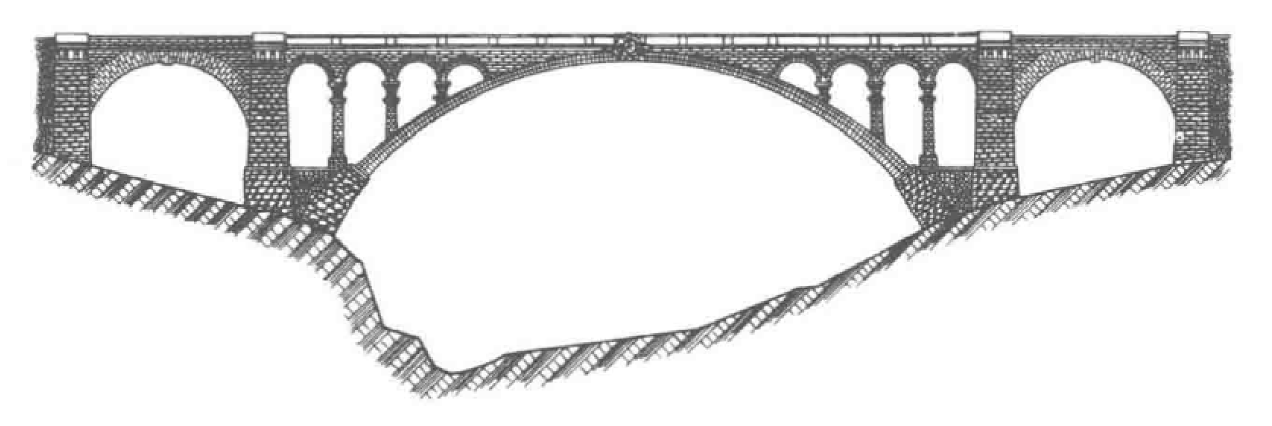


图 271　卢森堡的跨度约为 85 米的阿道夫桥。

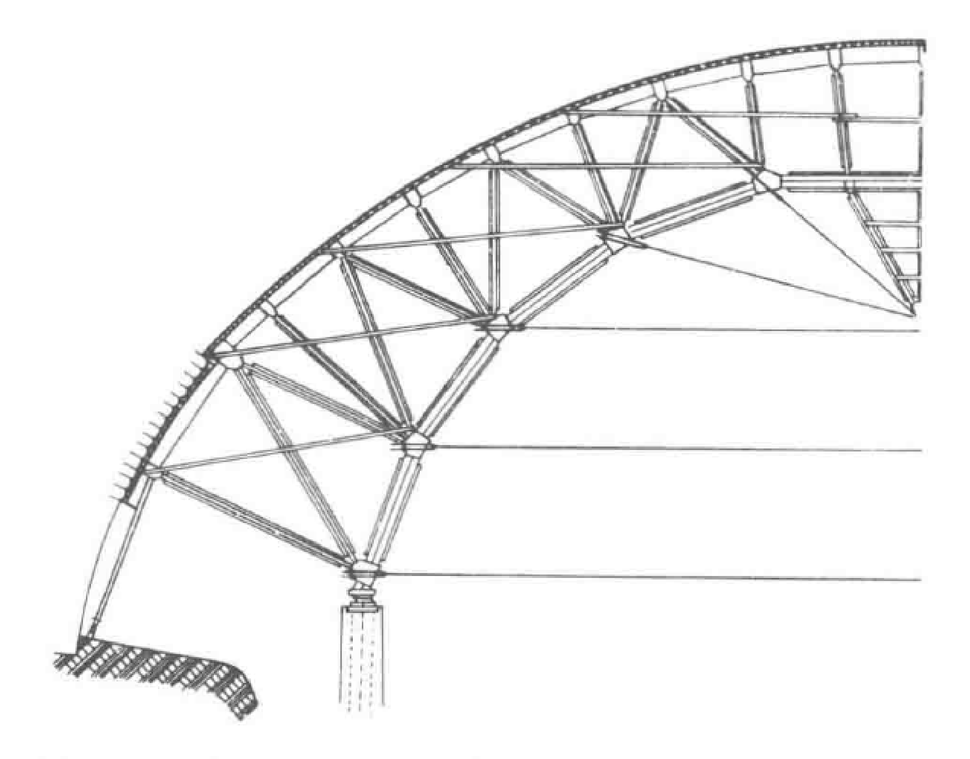


图 272 用于建造阿道夫桥的悬吊式拱架。

形式建造，每拱宽达 6 米，两拱并列，然后在上面铺设 16 米宽的钢筋混凝土桥面，从而将它们连在一起。

钢筋混凝土桥 尽管波特兰水泥已投入使用，而且多兹（Ralph Dodds）早在 1850 年以前就在英格兰取得钢筋混凝土的首个专利，但直到 19 世纪末，这种新材料才用于桥梁建筑。第一座有名的钢筋混凝土桥大概是跨度达 172 英尺的沙泰勒罗拱桥，这座桥由著名的法国工程师埃内比克（Francois Hennebique，1842—1921）设计，并在 1898 年建成。混凝土能承受压缩力，而钢筋能承受混凝土不能承受的拉伸应力，这是钢筋混凝土的基本原理。因此，这种材料十分适用于梁式桥和拱式桥，但在 19 世纪末期，钢筋混凝土才刚处于发展初期。

21.6 活动桥

活动桥的主要类型有开合式、平转式和垂直升降式。直到 20 世纪初期，像在米德尔斯伯勒和在蒙默斯郡的纽波特建造的架空缆车桥

这样的活动桥才出现。第一批铸铁平转桥于19世纪初期在伦敦的船坞里建成，但直到19世纪末，这种桥才演变成为现代的开合式和平转式桥。其中，最著名的大概是伦敦的塔桥（1886—1894年），这是一座双叶、单耳轴开合式桥，可提供200英尺高的航道。图273展示出了一个活动结构的剖面图。每个扇形齿上啮合着两个齿轮，驱动齿轮的水压机由南桥台上的两台双串列复合式表面冷凝蒸汽机提供动力，通常一台工作，另一台备用。由发动机驱动的泵给每个桥墩上的水力蓄压器充水。柱塞的直径为22英寸，冲程为18英尺，工作压强为每平方英寸700磅。

19世纪建造的最大的平转式桥是纽约市的哈勒姆河大桥，桥上有4条铁轨，桥长为389英尺，转动负载为2500吨。1956年，这座桥被一座双动力升降式桥所取代。芝加哥河上的霍尔斯特德街（Halstead Street）大桥在1893年至1894年建成，是第一批现代垂直升降桥，垂直升降跨长达130英尺、宽达48英尺，升起时可有155英尺的船舶通航高度。这座设置了配重的桥由两台70马力的可逆蒸汽机驱动。

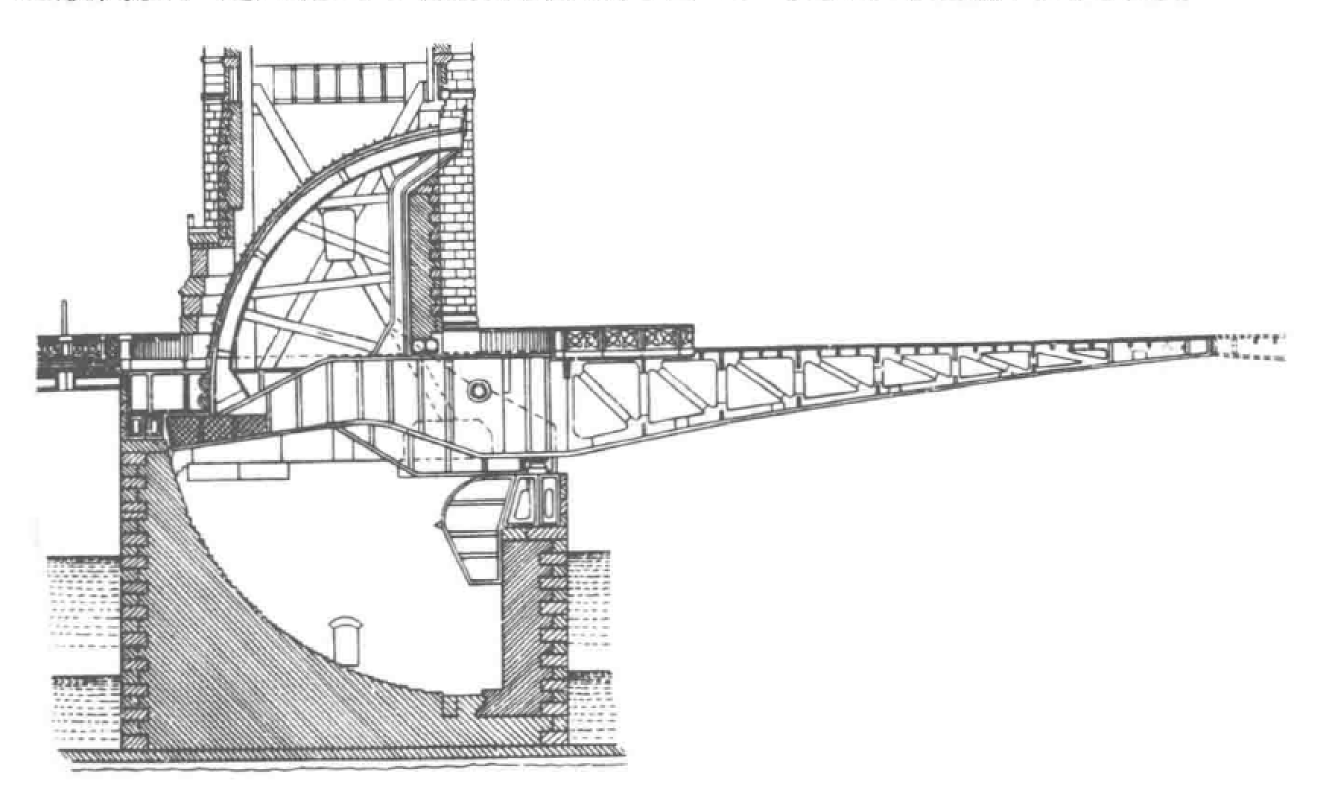


图273　伦敦塔桥活动结构的剖面图。

21.7　桥梁的基础工程

1851年以前，在河中心建造桥墩的常用方法是使用围堰（第Ⅲ卷，514 边码421—427）。围堰是一个上下开口的箱子，使用时把双层壁的板桩打入河底，围出建桥墩的地块。为使围堰防水，要在双层壁之间填入黏土，然后将围堰里的水泵出，水抽干后将软土挖尽，挖到坚固的地基为止。不过，围堰也存在缺点，板桩的长度有限，板桩不能打入很硬的河底，也不能通过障碍物，如果河底很软的话，软土就会挤入围堰，其速度跟挖掘的速度一样快。

为了克服以上困难，人们采用了沉筒或沉井，并且在下沉时采用敞开疏浚法或压缩空气法。1850年以后，印度所有由英国工程技术人员建造的大桥，几乎都把基础打在用敞开疏浚法沉入泥地里的砖砌沉井之上。当沉井里的沙被淘出或泵出时，沉井会由于自重而下沉，而井壁可往上砌高，以保持沉井总位于地平面上。当沉井下沉到所要求的深度时，要在水中灌注混凝土将其封死，然后在上面建筑桥墩。人们用这种方法在那些未开发地区建起了许多精美的大桥，而且靠的是最原始的工厂和技术不熟练的工人。

气压沉箱　为了在硬而无法挖掘的河底或者在可能遇到障碍物的地方沉入圆筒，人们发明了气压沉箱。1851年，在英国罗切斯特的梅德韦河建造61英尺深的桥墩时，威廉·丘比特爵士（Sir William Cubitt，1785—1861）和赖特（John Wright）首次采用了气压沉箱。接下来，布律内尔在切普斯托建桥时也采用了气压沉箱，他在索尔塔什建造皇家阿尔伯特桥时采用的规模则更大。在为位于凯尔的莱茵河桥打基础时（1859年），圣德尼（Fleur Saint Denis）这位现代体系的先驱者又对沉箱法做了重大的改进，此后这种方法便在欧洲和美洲得到了普遍使用。

沉箱法的主要程序如下：在沉箱底部有一个可泵入压缩空气的工作室，该室上部封闭、下部敞开，底部的四周有铁制或钢制的切割

刃，泵入空气的压力控制在等于或略大于沉箱底部的水压。当沉箱下沉时水压会增大，因此必须增加沉箱内的空气压力以取得平衡，使水不能进入工作室内。工作室有一个供人和材料出入用的竖井，一直从工作室的顶部到达水面。竖井内有空气闸，可使人和材料进出沉箱而不降低里面的空气压力。为使沉箱下沉，工人要进入工作室将底土挖出装入桶内，然后通过竖井送出，也可直接泵出或捞出底土。为让墙体始终高出水面，沉箱下沉时，边墙应往上砌高。

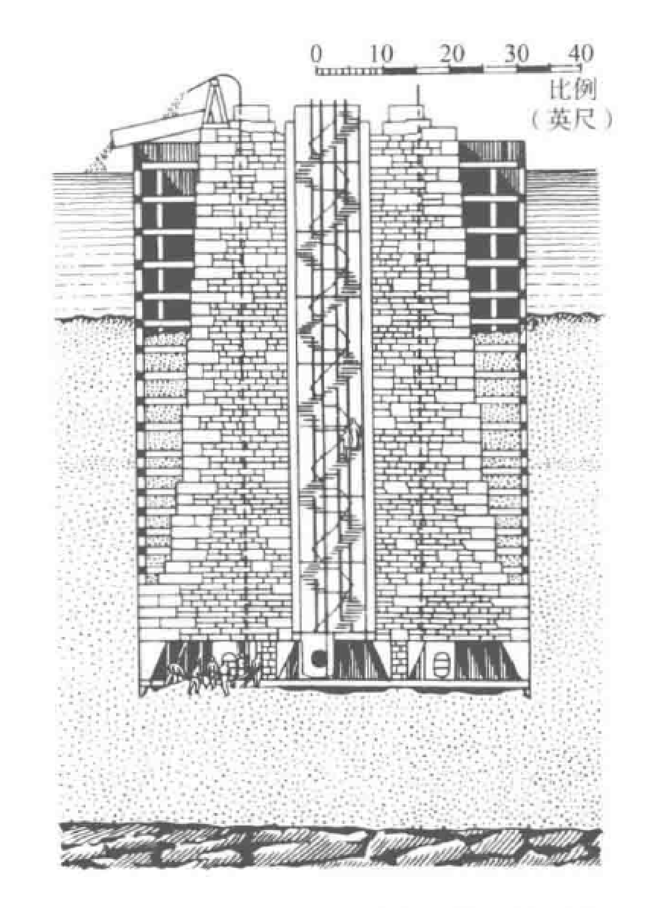


图 274　建造圣路易斯桥时东侧沉箱的剖面图，1870 年。

图 274 展示了 1870 年在美国建造圣路易斯桥（边码 510）时使用的一个沉箱的剖面图。在这个沉箱中，使用泥浆泵来清除底土，空气闸位于通道底部。现代的沉箱总把空气闸安放在沉箱顶部、水平面以上，这样能够做到发生漏水时也可确保安全。即使每班的工作时间很短，工人可有效工作而不感到过分不舒服的最大深度也不应超过 120 英尺，这一深度的气压为每平方英寸 52 磅。在这种气压下工作的工人从沉箱中出来后，如果不进行非常缓慢的减压，也会像深海潜水员那样得潜水员病或沉箱病。这是由于在突然减压时，组织中的氮会迅速释出而形成气泡，根据气泡释出所在部位的不同，病人的症状也各异，从耳痛、流鼻血到肌肉痉挛，甚至可能出现致命的麻痹。刚开始使用压缩空气时，人们还不了解它对人体的影响和必须遵守的安全预防措施，结果发生了许多死亡事故。

建造圣路易斯桥时，气压沉箱必须降到100英尺以下，那里的气压为每平方英寸45磅。尽管每班的工作时间缩短到半小时，但工人的减压时间只有两三分钟，而不是为保证安全所必需的至少1小时，结果导致14人死亡，许多人得了严重的沉箱病。那时人们对沉箱病的性质根本不了解，因此给井下工人发放的是用镀锌和镀银鳞片交替制成的防护带，裹在腰部、脚踝、臂部、腕部和脚底，试图利用电位差来防止这种病。其间，法国生理学家贝尔（Paul Bert，1833—1866）已经发现引起沉箱病的原因及其预防方法，但直到20世纪初期伦纳德·希尔爵士（Sir Leonard Hill，1866—1952）和其他人进行研究之后，人们才完全了解它的危险性。从此，沉箱作业就在有关条例的规定下安全地进行。

21.8 隧道

1850—1900年，在干燥地带开凿隧道技术的主要进展，就是采用机械化钻头和炸药以及用永久性的铸铁环来代替砖砌内衬。1818年，布律内尔取得了关于隧道盾构技术和铸铁内衬技术的专利。著名的泰晤士河隧道（1825—1841年）首先采用了盾构技术，但直到1869年建造通过泰晤士河底的塔山地下隧道时才采用了铸铁环。盾构技术主要用于水下开凿或较软地层的开凿，在开凿干燥地带的岩石时则不是必需的。除了盾构技术以外，水下开凿隧道的最重要进展就是采用压缩空气来防止水渗入。虽然早在1830年就已由科克伦勋爵（Lord Cochrane）提出并申请专利，但直到50年后这

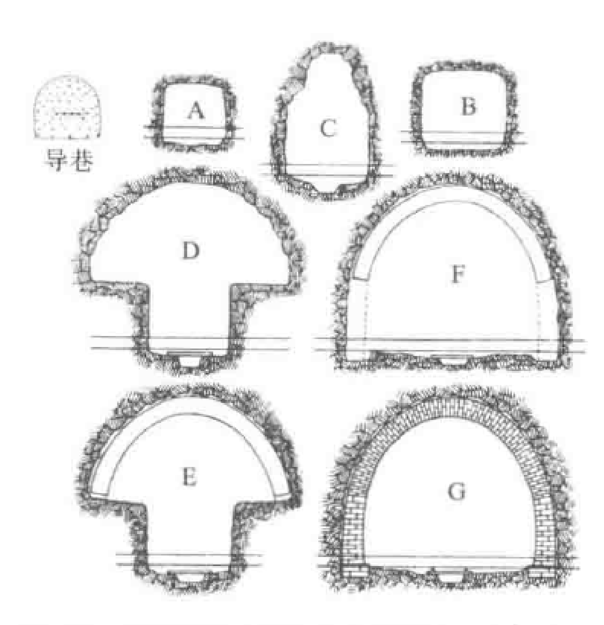


图275　开凿塞尼山隧道的分阶段挖掘示意图。

项技术才得到采用。在这以前，人们需要采取大量措施来防漏和排水，建造塞文隧道就是其中一例(边码 518)。

(i)在干燥地带建造的隧道 在阿尔卑斯山下建造的第一条隧道是长约为 8 英里的塞尼山隧道(1857—1871 年)，它连接着意大利和法国的铁路。这条隧道穿过的硬岩石区主要由石灰质片岩构成，含有一些碳质片岩和少量石英、石灰石。隧道中间部分较高，距山顶 1 英里，隧道断面约为 26 英尺宽、25 英尺高。开凿是分阶段进行的，如图 275 所示，先从两端各开一个 10 英尺见方的导巷或巷道，然后逐渐扩大以安装顶拱和砌砖墙。开凿时、钻开岩石并用炸药爆破。最先采用的工具是手钻，后来取而代之的是由水力压缩空气驱动的钻岩机(边码 527)。

517

起初隧道内用汽灯照明，接下来改用油灯。经验表明，钻孔用的索梅莱(Sommeiller)钻机中逸出的压缩空气，能给导巷提供适量的通风，被压缩的空气膨胀到原有的体积时，温度会显著下降。在大型巷道中，工作面后每 80 英尺或更远处，就要采取专门措施改善通风条件。通常采用一个卧式风嶂，从每个入口处向内构筑，把隧道分隔成上下两部分，使新鲜空气从下半部进入，排出的空气则由上半部返回。

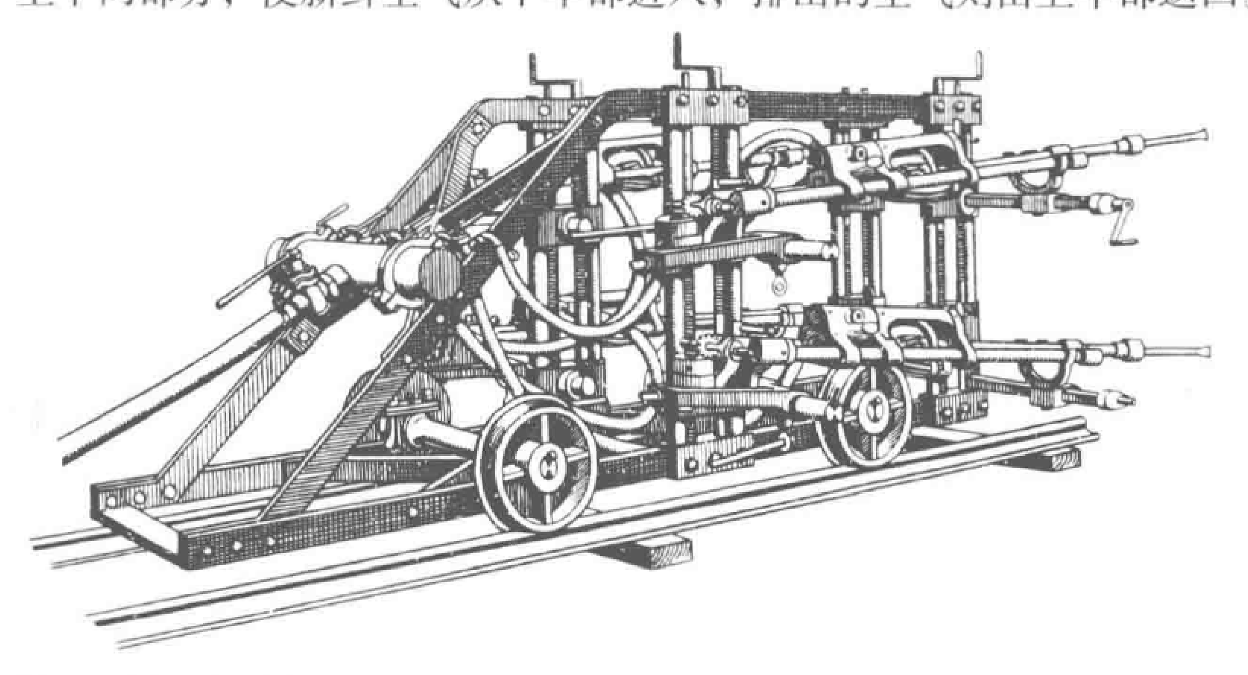


图 276 开凿圣哥达隧道时所用的麦基恩(Mckean)式钻岩机。

建造长达$9\frac{1}{3}$英里、断面与塞尼山隧道相同的圣哥达隧道（1872—1881年）时，一开始就使用了机械化钻机（图276）。由于改进了钻机的效率并采用硝化甘油炸药代替黑色炸药，施工进度大大加快。通向隧道的通道包括7条螺旋道，在山内几乎形成了完整的环形。然而，当从两面挖进的巷道在中间汇合时，人们发现垂直误差只有4英寸，水平误差只有6—8英寸。

蒸汽机车行驶的隧道需用鼓风机进行机械通风，否则烟雾将随机车的行驶而逐渐增多，周围环境会变得让人无法忍受，尤其是司机和司炉工。1899年，意大利工程师萨卡尔多（Saccardo）发明了一种系统，安装在圣哥达隧道后取得了极大的成功。这种系统以喷射器的原理为基础，只适用于没有中间站或中间竖井的长隧道。在隧道口用砖砌一个25英尺长的结构物，它的内廓线（即隧道的最小横截面）向隧道口延伸了3英尺。空气通过结构壁面与隧道壁面之间的空间沿着隧道的侧面送入，气流便沿隧道的轴线贯穿整个隧道。当行进的火车与气流相遇时，迎面吹来的大量新鲜空气会使司机和司炉工备感舒适。

518

（ⅱ）水下隧道 英国第一条大型水下隧道是塞文隧道（1873—1886年），长达4.3英里，大西部铁路公司的复线铁路从中通过（图277）。隧道穿过的地层包括砾岩、石灰石、含碳层、砂岩、泥灰岩、砂砾层和砂层，并且有相当大的倾斜度，河流最深处隧道的覆盖层是最小厚度为30英尺的泥灰岩。横道口两侧都挖有竖井，从竖井处向

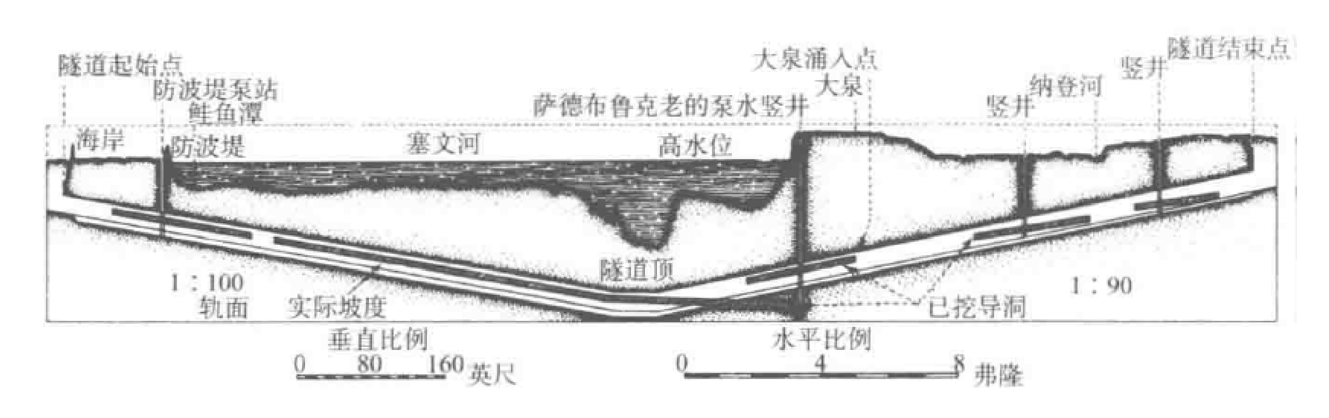


图277 塞文隧道自东向西的纵向剖面图，显示出1879年10月大泉涌入时导洞的挖掘情况。

河床下和陆地下两个方向各挖掘截面 7 英尺见方的导洞，导洞中设有水泵。1879 年以前，导洞扩展到几乎相当于河口的宽度时也没有遇到多少水，但这时工程师们不幸挖开了萨德布鲁克(Sudbrook)附近的大泉(the Big Spring)。

水涌入时，人们惊慌逃离，全部工程在 24 小时内都被水淹没。直到 14 个月以后，经过艰巨的作业和无数次失败，隧道中的水终于被抽干，工程得以重新开始。为抽干隧道中的水，人们在大泉的陆地一侧挖了一些竖井，增设了泵站，用横过导洞的橡木板来阻挡泉水流入旧竖井。一位名叫兰伯特(Lambert)的潜水员带着压缩氧气包，通过洪水淹没的隧道，在黑暗中游了 1000 英尺后拧动阀门，关闭了一扇人们仓皇出逃时未来得及关上的铁门。

519

1881 年 9 月，两端的导洞汇合。尽管此后又发生过几次洪水冲入工作巷道的意外，但越过大泉的最后一段隧道终于在 1885 年 4 月完工。施工时的通风由一个直径为 18 英尺、叶片宽为 7 英尺的鼓风机提供，它装在深竖井顶部。岩石用压缩空气钻钻开，最后用托奈特炸药(tonite)[1] 进行爆破，这种炸药比其他炸药所产生的有害烟雾要少。整个巷道中用的是斯旺(Swan)和布拉什(Brush)的电灯。隧道用 2.25—3 英尺厚的由混凝土固定的玻璃砖结构作衬里。虽然每天抽出的水量从未超过 3000 万加仑，但所提供的泵的总能力可以抽出 2 倍于此的水量。隧道里的运输量很大，持久的通风由两端主竖井里的鼓风机提供，装在蒙茅斯郡竖井内的鼓风机直径为 40 英尺，叶片宽为 12 英尺。

21.9 隧道施工法

(i)压缩空气的使用 最早的大规模使用压缩空气是开凿位于纽约和泽西城之间的第一条哈得孙河隧道(1874—1908 年)，这一工

1 一种用火棉和硝酸钡制成的炸药。

程从一开始就多灾多难。隧道由两条16英尺宽、18英尺高的管道构成，大部分管道必须通过1英里宽、60英尺深的河底下淤泥层。在新泽西一侧，人们挖了一个直径为30英尺的竖井，直达水位以下60英尺深处，然后从通道底部的工作室开始用压缩空气机对两条隧道中的第一条进行施工。采取的方法是先清除阶地上的挖掘物，用压缩空气排出淤泥和水，直到下一个1/4英寸厚、30英寸宽的铁制衬板能够放入并和它后面的衬板用螺栓连接上为止。每装好4块衬板，就将内腔清理干净并砌出砖衬里，这样就完成了10英尺的一段工程。

后来，这种方法得到了改进。人们在隧道中心线处打入一个直径为6英尺的铁制导向管，衬板最初就是在这上面构建起来的。遗憾的是，在1882年11月，当隧道已完成2000英尺时，工程由于缺少经费而停工，直到6年后获得英国的资助才得以续建。当约翰·福勒爵士（Sir John Fowler，1817—1898）、贝克（Baker，1840—1907）和格雷特黑德（J. H. Greathead，1844—1896）被任命为顾问工程师时，他们就决定制造能加快作业的钢质盾构机（图版31A），并采用足以抗住土方压力的铸铁衬里。

520

（ⅱ）隧道盾构机和铸铁环井 隧道盾构机的用途是取代支撑用的木构架，在开凿中挡住周围的泥土。盾构机后部留有一些空间，以便架设与它搭接的永久性铸铁衬里，铸铁衬里架设完毕后，盾构机再向前推进。铸铁衬里的主要优点是结构紧凑，强度好，安装快，几乎不需要维修，并且容易确保其水密性。

修筑哈得孙河隧道所用的盾构机长为10英尺6英寸，外径为19英尺11英寸，工作面分为9个水密舱。整个盾构机由顶在刚装好的铸铁环上的16个液压缸柱塞向前推进，铸铁环各段用装在移动式小车上的液压滚转式拼装机安装到位（图版31B）。当盾构机被向前推时，它前面的淤泥就会向门里挤入，因此不需要工人挖掘。这一工程每周最快的进度是72英尺，不过到1891年7月因缺少经费而停止，

隧道里积满了水，直到1908年才最后完成。

在每平方英寸35磅的压强下工作，会使隧道工人患上严重的沉箱病。为了防止这种疾病，承建商建造了“一间位于地平面处的完全气密的铁制医疗室，在那里可以获得所需要的空气压力”，这可以说是第一个医疗舱。在这个舱里接受再加压，直到肌肉痉挛和疼痛都消失，然后极缓慢地减压，患者基本上都能痊愈。

后来，在建造3.5英里长的伦敦第一条地下铁路伦敦城和南伦敦铁路（City and South London Railway）时（1886—1890年），格雷特黑德使用了铸铁环和经过改进的盾构机，这些方法从此成了标准的施工法。伦敦地下现有90多英里长的地下铁道，其中大部分在黏土层中，压缩空气只是在修筑通过含水沙砾层的短隧道时才需要使用。

（ⅲ）其他开凿法 一种不寻常的开凿法是先使土中的水分冻结，再挖掘冻土。在建造斯德哥尔摩的人行隧道（1884—1886年）时，这种方法首次得到采用。还有一种近年来才采用的方法，是在河床中预先挖好的壕沟里沉下大型管道，再把它们连接起来。在1893年至1894年间，波士顿港口一条长达1500英尺的污水排水隧道的建设就用了这种方法，它由砖和混凝土制成的一段段直径为9英尺、长度为52英尺的管道构成。

521

参考书目

Gay, C. 'Ponts en maçonnerie.' Baillière, Paris. 1924.

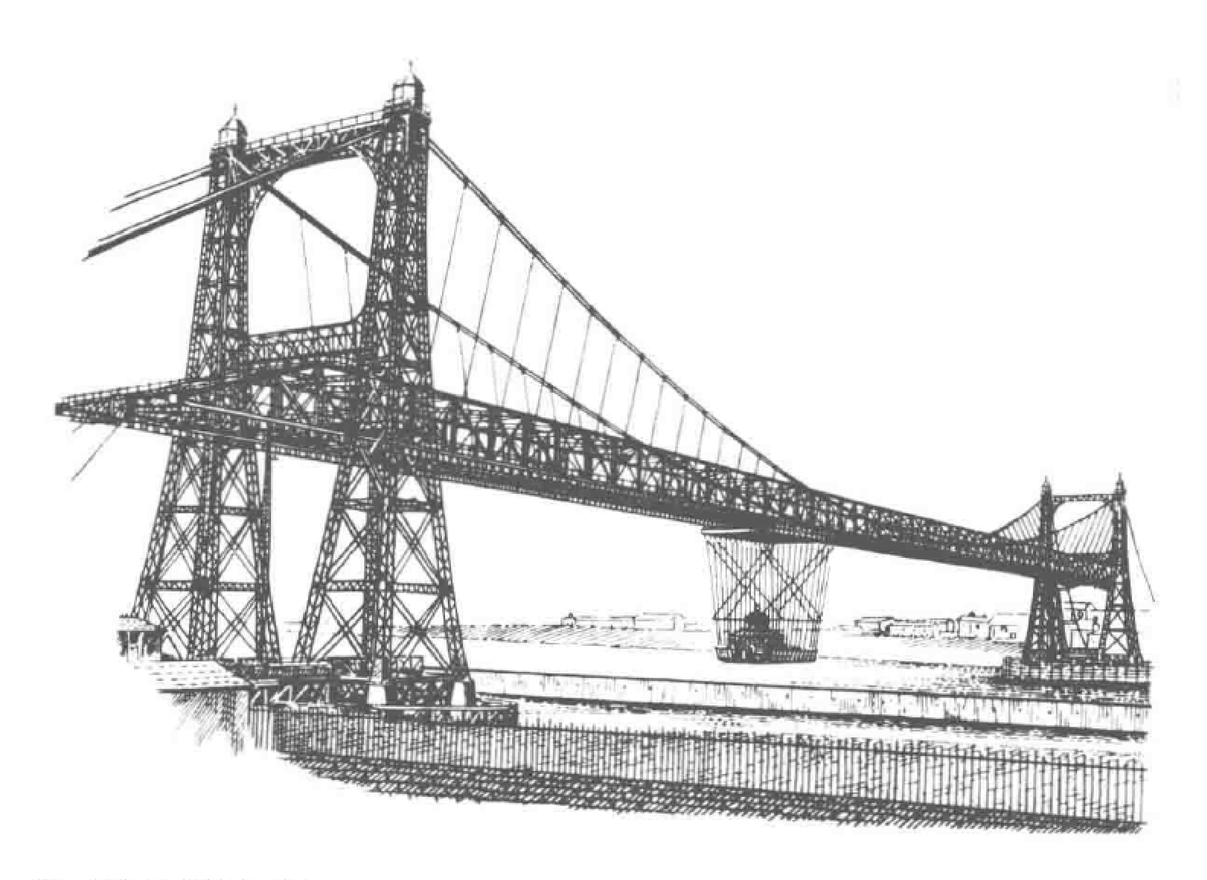
Hovey, O. E. 'Movable Bridges' (2 vols). Wiley, New York. 1927.

Shirley Smith, H. 'The World's Great Bridges.' Phoenix House, London. 1953.

Simms, F. W. 'Practical Tunnelling' (4th ed., rev. and enl. by D. K. Clark). London. 1896.

Straub, H. 'A History of Civil Engineering' (trans. from the German by E. Rockwell). Leonard Hill, London. 1952.

Tyrrell, H. G. 'History of Bridge Engineering' . Published by the author, Chicago. 1911.



英国柴郡伦康的交通桥。

第22章 水利工程

J. 艾伦（J. ALLEN）

522

水利工程与诸多方面的设计、制造和建造有关，包括给水和排水（第23章），灌溉、水泵和涡轮机等机械、各种各样的工业过程，以及运河、河流和港口等。在19世纪下半叶，所有这些方面都取得了重大的甚至是惊人的进展。此外，在水利工程的理论和实验方面也获得了显著的成就。

22.1 坝

19世纪初期，水库的堤坝通常都是中间有黏土心墙的土坝，不过也有一些著名的早期浆砌石坝，例如135英尺高的阿利坎特大坝（1579—1594年）（边码556）和为了向朗格多克运河供水而在法国建造的朗皮（Lampy）水坝（1780年），后者用粗石建造，有琢石护面，并在坝的后部用支墩进行加固。

“浆砌石坝”这一术语可泛指：(1) 完全用天然石材或用石材加灰浆建造的坝；(2) 主体部分不是用凿石建造而是采用凿石护面的坝；(3) 用人造石体（混凝土）建造并用石头护面的坝；(4) 完全由混凝土建造的坝。英国第一个高石坝位于韦尔努伊河，属于第一种类型，它的内部和护面都是用石材与灰浆砌筑的（边码557，图295，图版33B），从坝基底部到坝顶的溢洪道的高度约为144英尺，坝底部的

最大厚度几乎达到130英尺，坝的长度为1170英尺。该坝的一个极其重要的特点就是位于坝基处通过水压来控制的排水系统，它能够防止水位的上升，因为太大的水压可能将水坝摧毁。

法国工程师德洛克尔（Delocre，边码556）首先提出阻挡狭谷中水流的坝应采取拱的形式，这样可把坝所受到的推力传递到两边的岩石上。120英尺高的佐拉水坝（1843年）和富伦斯（Furens）水坝（1861—1866年）就是这种结构的早期实例。在设计水坝时，充分利用拱结构作用的尝试很少，拱形坝的设计在理论上有很大的困难，重要的进展都是在近期才取得的。由于部分地考虑了拱结构的作用，许多用石头和混凝土建造的拱坝的重量都得以减少。

523

现代类型的支墩坝属于完全混凝土坝时代，完全混凝土坝由原来的浆砌石坝的设计逐渐演变而来。支墩坝主要由挡水墙以及支撑挡水墙的许多支墩组成。据称，早在1800年，印度就建造了基于该原理的规模相当大的水坝。

为了使有断裂层的地层不渗水，避免截水墙不经济地过深，以及使水坝两端与地层固合，浇灌混凝土已经成为普遍的做法。通常认为，霍克斯利（Thomas Hawksley）已经采用了利用压力灌水泥的方法（边码557）。当然，用这种方法解决水库渗漏问题的首次记载是1878年在兰开夏郡罗奇代尔的科恩（Cown）水库。

在工程实践上，人们从失败中可以学到许多东西。约克郡哈德斯菲尔德附近的霍姆弗斯水坝的土堤在1852年发生了事故，渗漏破坏了堤坝的结构，并且导致黏土心墙及其周围的土方工程发生沉陷。1864年的戴尔大堤（Dale Dyke）大灾难导致了244人丧生，至今仍然是一个谜。但人们曾经认为，18英寸的铸铁泄水孔管道因无法承受其上部的堤坝重量而破裂，导致了灾难的发生。数年后，人们在同一位置的附近建造了一个新水库，堤坝一端的周围是坚固的岩石，泄水孔被设置在位于这些岩石内的隧道中。1895年，埃皮纳勒附近的布

泽（Bouzey）石坝发生了事故，据称当时在坝的断裂处“坝体外侧中部有一条很长的受压线，坝的迎水面必定受到了很大的压力”。

虽然发生在1900年之后，但多尔加罗格（Dolgarrog）水坝的倒塌，也特别值得一提。它是一个混凝土坝，倒塌的原因是坝基不够深，没有形成有效的截水墙，而它的横截面被认为是足以保证稳定性的。当然，多尔加罗格水坝的倒塌引起了人们的极大忧虑，而且它似乎成为1930年制订《英国水库（安全防备）法》[*British Reservoirs*（*Safety Provisions*）*Act*]的原因之一。该法案规定，凡高于地面容量500万加仑以上的所有水库，都必须在不超过10年的时间间隔内由合格的工程师进行检查，并且只有具备资格的工程师才能负责此类工程的设计和建造。

在英国，据说集水区的造林是1885年从奥尔德姆开始的。在集水区造林不仅具有美学意义，还是平衡集水区水量、保持泥沙和减少污染的极好方法，森林还可用作阻拦牛的一道屏障。在集水区，通常种植针叶类树种。

524

水库设计的最重要特点之一就是考虑到泄洪。对于土坝，常常在坝堤的一端（不是在坝本身的土方上）建造堰，堰的长度和高度的设计要保证水位一直处于坝顶之下。对于浆砌石坝和混凝土坝，洪水可以通过坝的某个部分排泄出去。在其他可以采用的设施中还有喇叭形溢洪道，这是一个顶部有喇叭形入口的垂直井道，井道的底端与一条隧道相通，隧道把水送到低于水坝的河床上。井道及其圆形入口的尺寸也要进行精确的设计，以保证蓄存的水不会高出安全水位。在某些施工现场的条件下，这种形状的溢洪道具有许多优势。1896年，蒂斯河谷水利委员会主建的布莱克顿（Blackton）水库就采用了这种溢洪道。

22.2 水力机械

19 世纪，水泵和水力发动机得到了很大的改进，这对于许多其他方面的技术都产生了影响，包括疏浚、供水、发电以及造纸等许多使用大量水的生产工艺。

水泵 在 19 世纪初，蒸汽驱动的往复泵得到了普遍应用，其中有许多是由瓦特设计的。1855 年为东伦敦自来水公司制造的一台高压冷凝式蒸汽泵（一种康沃尔发动机），汽缸直径为 100 英寸，冲程为 11 英尺，功率为 380 马力的量级。此后不久，索思沃克和沃克斯豪尔自来水公司安装了一台功率约为 880 马力的蒸汽泵，在水头为 170 英尺的情况下，每天能提升 1200 万加仑水。

离心泵与往复泵完全不同，在离心泵中转动的叶轮会产生强制涡流，涡流使水进入叶轮眼，增大叶轮中心的水压，并将这些水经泵壳送入输水管路。这种设计在许多方面都优于往复泵，例如离心泵不使用工作阀，能提供稳定的输出流量。在离心泵中没有反向运动，但必须具有很高的旋转速度。人们认为离心泵是 17 世纪晚期由乔

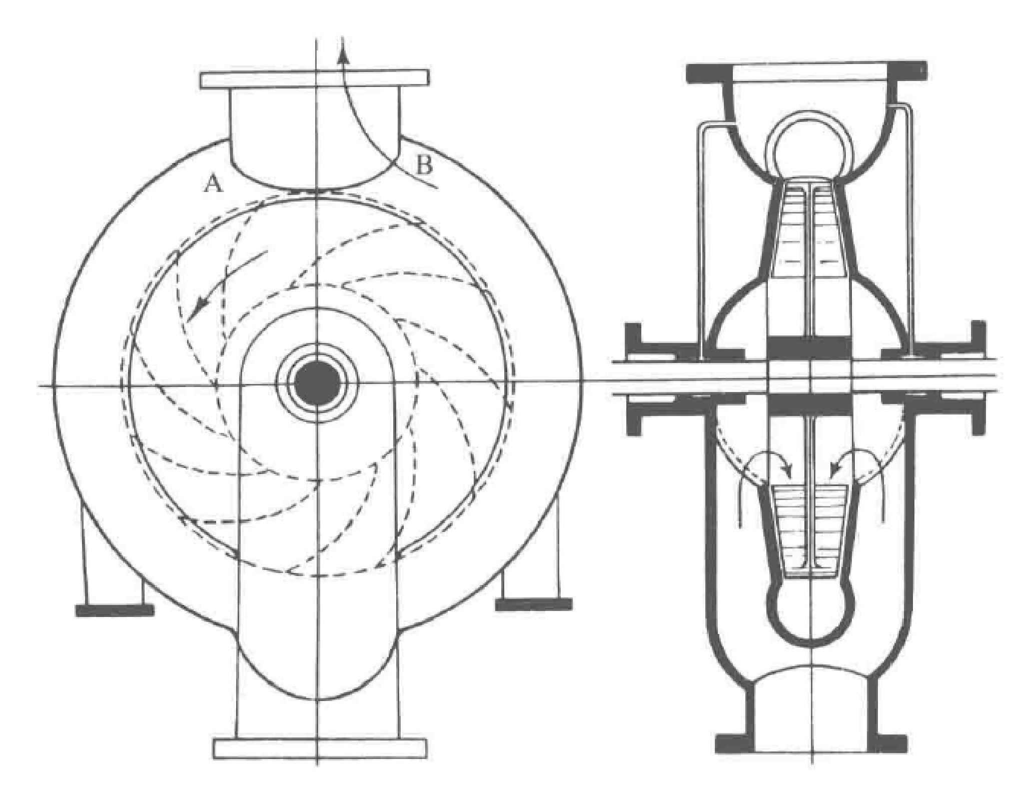


图 278 简单的单级离心泵。

丹(Johann Jordan)发明的，但这种离心泵极不完善。直到19世纪中期，离心泵才开始在公开场合展示，詹姆斯·斯图尔特·格温(James Stuart Gwynne，1831—1915)和阿波尔德(John George Appold，1800—1865)就把它们带到1851年的万国博览会上。19世纪中叶，约翰·格温(John Gwynne，1800—1855)取得了多级泵的专利。

图278是一种简单的单级水泵的结构图。水以很高的速度离开叶轮的外缘，在它进入输水管路之前，把一部分相应的动能转变为压能，能够提高效率。但甚至在今天的许多水泵中，水只是简单地被排入叶轮周围与输水管路相连接的小室中(如图278所示)。通过小室截面的水量从A到B连续增加。由于集水室中涡流的速度从A到B不断变化，并且仅仅与某一特定截面的排水速度相一致，许多能量变为冲击热和涡流形成热而浪费掉了。避免这种浪费的一个方法，就是从A到B逐渐地增大截面面积。开尔文勋爵(Lord Kelvin)的兄弟詹姆斯·汤姆孙(James Thomson，1822—1892)建议使用更大的集水室，即所谓的旋涡室(图279)。在涡壳与叶轮同心的部分，离开叶轮的

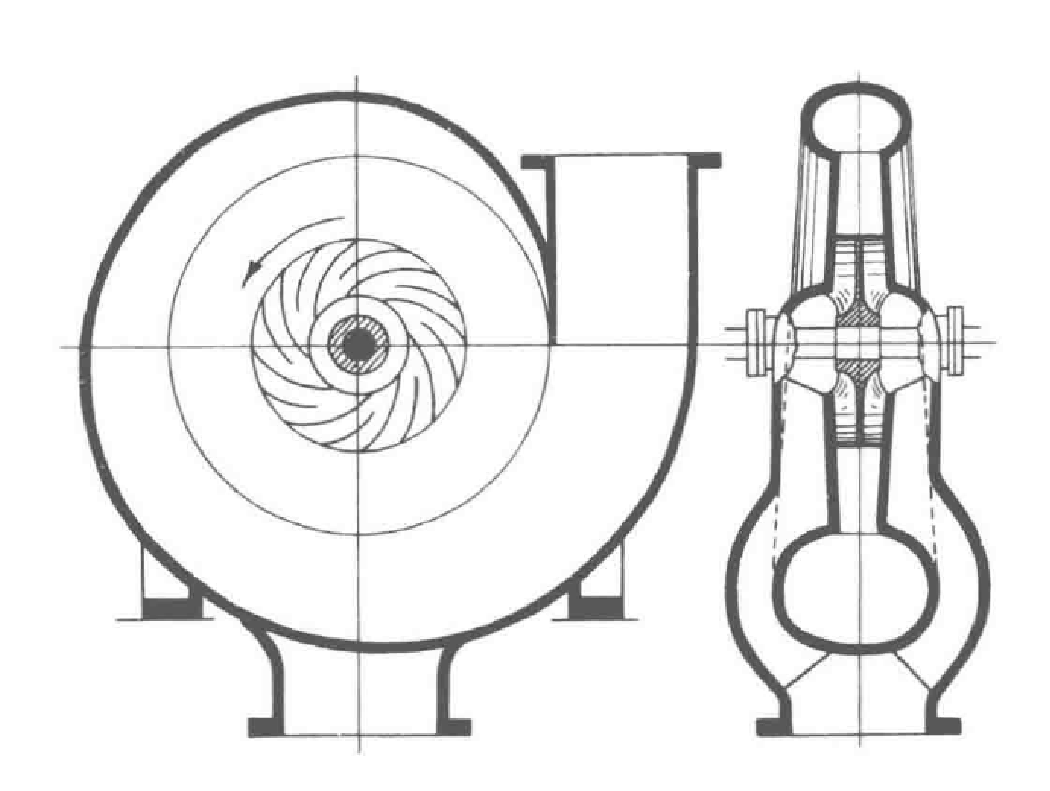


图279　旋涡室的剖面图。

水呈近似自由旋涡的形式，其压力朝叶轮的外径方向迅速增大。这样，在外壳逐渐增大的区域，就会产生均匀的排水量。不利的是，为了通过使用旋涡室来提高效率，旋涡室必须具备非常大的尺寸。因此，除了经过改造的形式之外，人们很少使用这种旋涡室。不过在汤姆孙的指导下，人们为巴巴多斯排水工程制造了一台泵，其叶轮和旋涡室的直径分别为16英尺和32英尺。

526

作为一种替代方案，人们在19世纪后期一些水泵的转动叶轮周围，安装了一个由固定的导叶片组成的环。这些导叶片被设计用来无冲击地接收来自叶轮的水，并使之通过各分支通道进入周围的集水室中，从那里再进入输水管路。雷诺（Osborne Reynolds）对这种泵和高扬程多级泵的发展均作出了贡献，这一点我们将在后面提及（边码548）。

射流泵和水锤泵虽然不像离心泵那么重要，但它们在实际工程中的应用也很值得注意。射流泵的原理很久以前就已知晓，如图280所示，喷射流体带动其周围的液体在喷嘴后端产生低压，从而将集水池中的水吸入抽水管中。实践中使用的射流泵由汤姆孙发明，他在1853年向英国协会报告了他关于射流泵的实验。

水锤泵是蒙戈尔费埃（Joseph Michel Montgolfier，1740—1810）在18世纪末以前发明的（第Ⅳ卷，边码499），由伊斯顿（Easton）在1824年引入。1865年，约翰·布莱克公司（John Blake & Company）开始制造这种水泵，并很快普及使用，从水源（如小溪）向高处传送少量的水。水锤泵的优点是结构简单，不需要发动机，也不需要传动装置（图281）。来自水源的水通过进水管S进入阀门箱B中，阀门箱里安装有一个向内开启的排水阀V_1和一个向外开启的输送阀V_2。用手压下阀V_1之后，水便能从阀门箱中溢出，使进水管里的水开始流动。从进水

527

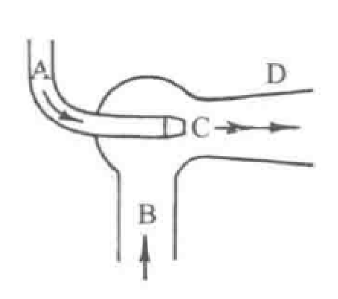


图280 射流泵。喷射流体降低了喷嘴后端的压力，从而使水升高至抽水管中。（A）喷射管；（B）抽水管；（C）喷嘴；（D）输水管。

管向下流动的水的流速逐渐增大，直至阀 V_1 下面的动压力大到足以克服阀本身的重量而使之闭合。这时，进水柱的运动受到阻碍，阀门箱内的压力冲开输送阀 V_2。水通过阀门 V_2 进入空气室 A，压缩其中的空气，并进入输水主管 P 中。当进水柱的动量耗尽之后，输送阀闭合，输送阀下面的水便产生逆向运动。阀门箱内压力的下降，加上输送阀回跳导致的水的回流，使排水阀重新打开，操作过程就这样不断地重复下去。

后来，皮尔索尔（H. D. Pearsall）对水锤泵进行了具有独创性的改进，使它能够提升大量的水。他的发明（现已过时）主要是用机械方法开启和闭合排水阀，以便能够使用一个柱形平衡阀，并且使操作循环中各个部件的周期能够进行调整，以适应各种不同的工作条件。人们对这种形式的水锤泵进行了改造，用来压缩空气。在建造塞尼山隧道（1857—1871 年）（边码 517）时，意大利工程师索梅莱（Germain Sommeiller）曾设计了一台这种类型的空气压缩机（带有机械操纵的阀门）（图 282），为气压钻孔机提供压缩空气。进水管上的进水阀 V_1 和排水阀 V_2 连接在一起，并且能以机械方式操纵。当阀 V_2 打开时，具有大气压力的空气通过空气阀 V_4 被吸了进来，然后 V_2 闭合，V_1 打开，水在压力的作用下进入管路 A 中。这样就能压缩 B 室中的空气，空气从 B 室通过输送阀 V_3 进入空气存储器中。然后，V_1 闭合，V_2 打开，重复上述循环。

水力发动机 用水驱动的原动机可以分为三类：（1）水压机，配备一个活塞和一个装有进水阀与排水阀的水缸，用水驱动，其工作过程与蒸汽机或燃气发动机相似；（2）水车，参

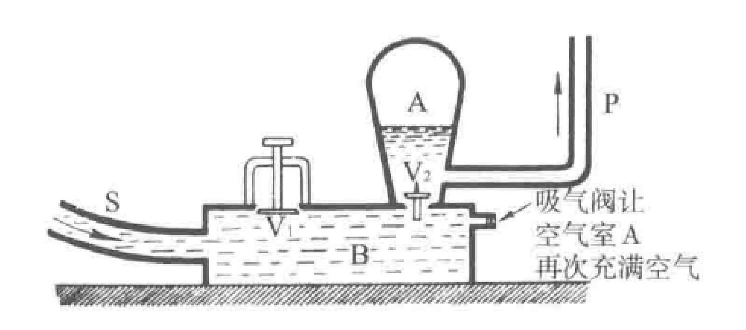


图 281　水锤泵，一种将少量水提升到水源以上高处的非机械装置。

528

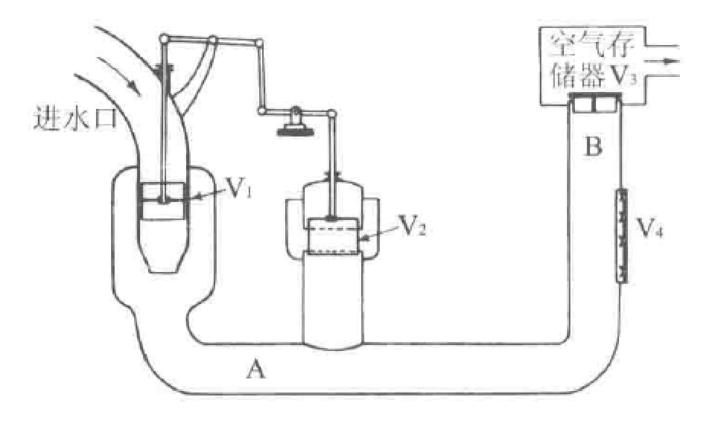


图 282 液压空气压缩机，水锤泵的一种改造形式。

见第Ⅱ卷第 17 章和第Ⅳ卷第 7 章；(3) 水轮机，从高速喷射流中获得能量（冲击式水轮机）或者从具有压力的水中得到能量，或者使具有压力的水通过水轮机转轮的叶片，使转轮转动（反击式水轮机）。在活塞式水压机中，水靠它的压力做功。在水车中，水主要靠其重量做功。在冲击式水轮机中，水靠喷射流的动能做功。在反击式水轮机[1]中，水的压能部分地转变为转轮的动能。

在 19 世纪，活塞式水压机得到了广泛的应用。在可以获得高水头且要求的转速很低时，它非常令人满意，适于驱动起重机、绞盘、卷扬机以及需要较低功率的小型机械。有时候，活塞式水压机会被制成双作用式。根据布拉泽胡德（Brotherhood）蒸汽机的设计（边码 137），人们还研制出一种三缸径向水压机。

在法国，水轮机最初被称为透平（turbine）[2]，系指在水平面上转动、轴线竖直的任何水力发动机。博尔达（de Borda）的水车、巴克（Barker）的水磨、塞格纳（Segner）的水轮机或者古老的苏格兰水轮机都符合这个定义，但人们普遍认为富尔内隆（Fourneyron）的水轮机开辟了实用水轮机的现代化时代。这种水轮机获得 1827 年由促进协会（Société d'Encourgement）颁发的奖项。从本质上说，它是一种外流式水轮机（图 283）。水通过固定的导水通道 P 进入周围的转轮中，冲击转轮的叶片 B 改变其运动方向，然后沿着转轮的周边流出去。这种水轮机在完全满水时，是反击式水轮机的一个实例。但是，某些早

1 之所以采用“反击”这个术语，是因为在压能转变为动能时，所发生的冲量的变化必定在运动叶片上产生大小相等的反作用。

2 该词是富尔内隆的老师比尔丹（Claude Burdin，1790—1873）根据拉丁文 turbo、turbinis 创造出来的。

期的水轮机显然是在尾水水位以上排水，实际上是冲击式水轮机。在富尔内隆制造的第一批水轮机中，有一台在落差约为350英尺时的工作转速为每分钟2300转。在安装上一个扩散器之后，这种水轮机的效率得到了提高。1844年，大概是博伊登(Boyden)发明的扩散器逐渐降低了离开转轮外部的水在排入尾渠之前的速度(图284)，一部分速度产生的能量转变为压能。由于扩散器外部的压力与其浸入的深度相对应，这就会引起转轮周边的压力下降，从而提高水轮机的有效水头。

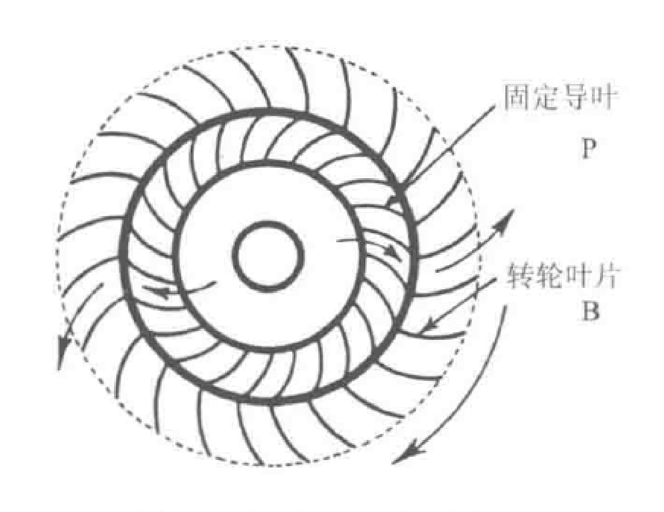


图283　富尔内隆的外流式水轮机原理图。

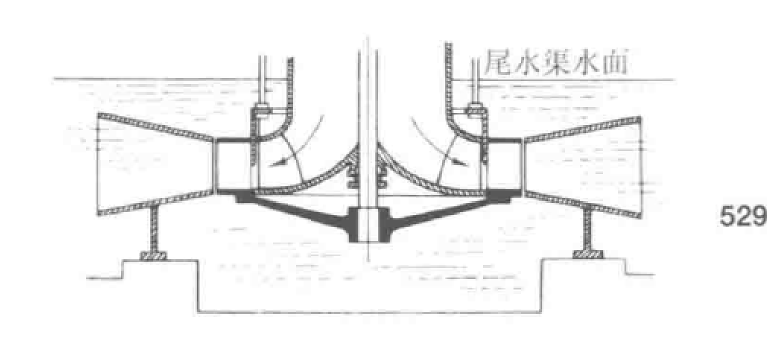


图284　安装有博伊登扩散器的径向外流式水轮机。

但富尔内隆的外流式水轮机的固有缺点是，当水流经过固定的和活动的叶片时，水就进入了容积递增的区域，这就意味着水流是扩散的。在本质上，这样的运动不稳定，而且在形成和保持涡流的过程中伴随着能量的损耗。在速度调节或控制方面，这种水轮机也有一些困难。富尔内隆水轮机后来就不受欢迎了，取而代之的是容瓦尔(Jonval)发明的轴流式水轮机(1843年)。在轴流式水轮机中，通过将转轮分成若干个同心的隔舱以及单独调整对它们的供水量，使得在不同的水头条件下保持恒定不变的速度成为可能。据记载，轴流式水轮机的效率达到了73%—83%。事实证明，容瓦尔水轮机特别适用于拥有大量低水头或中水头水流的欧洲。这种水轮机约在1850年被引进到美国，但后来无论在美国还是在其他地方，它都在很大程度上被径向内流式水轮机所取代。

内流式水轮机是由彭赛列(J. V. Poncelet)在1826年提出的，纽约的霍德(Howd)在1838年制造出一台。据说，霍德在新英格兰州的磨坊里安装了几台“制作粗糙的”水轮机。1840年，弗朗西斯(James B. Francis)利用霍德的专利设计了一台质量优良的水轮机。1851年，他还对两台大的水轮机进行了一系列精确的试验，一台是外流式水轮机(富尔内隆水轮机)，另一台是径向内流式水轮机，两台水轮机都被安装在马萨诸塞州洛厄尔的磨坊里。弗朗西斯的工作引起了世人对内流式水轮机的关注，他还阐述了设计转轮的规则，因此具有内流特征的一大类反击式水轮机一般都以他的名字命名。在这种水轮机(图285)中，水通过许多导叶，这些导叶使水顺当地转向，进入固定在轴上的转轮的曲面轮叶间的通道中。水在转轮上做功之后，便在离中心点更近的地方离开转轮。

530

在这种水轮机的发展过程中，汤姆孙也作出了巨大的贡献(边码525)。他的水轮机(1852年)被称为涡流水轮机，因为在他最初的设计中，转轮和导叶都封闭在一个很大的螺旋外壳内。水从螺旋最宽的部分进入，以大致相同的速度在机壳中绕行，导叶的形状能够把水导入转轮之内，并使水以涡流形式流动。汤姆孙对这种水轮机进行了一项永久性的改进，在导叶的内端附近装上枢轴，使它们大致保持平衡。这些枢轴伸出到机壳外，并且连接在一起，以便能够用手或自动调节器使所有的导叶一起转动，这种枢轴式导叶结构后来被称为旋转闸门。

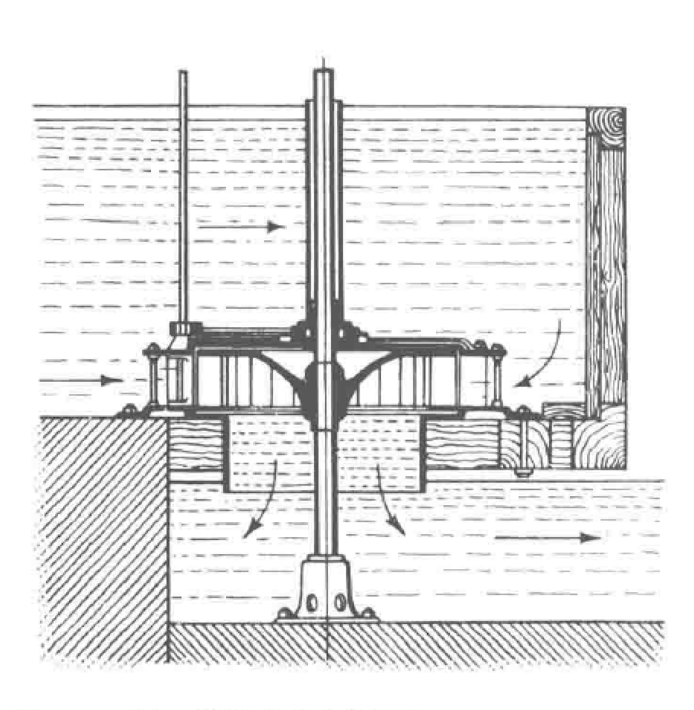


图285 弗朗西斯的内流式水轮机。

这样一来，通过调节导叶之间的空隙就能控制进入转轮的水流量。在此以前，水流量是通过位于固定导叶和转轮之间或位于导叶外部周围的其他闸门来进行调节的。后来，人们对汤姆孙的活动式导叶进行了改造和改进，改变了枢轴的位置，大大增加了他所设计的导叶的数量，但在本质上保留了他的设计思想。

在美国，内流式水轮机被进一步改进为一种混流式水轮机。这种水轮机的转轮叶片为匙状，这样，当水还在水轮内部的时候，水的运动方向已经与轴平行。这种设计使得在给定的空间内同时提高入口面积和出口面积成为可能，并且能够在相对小型的水轮机内通过大量的水。许多早期的混流式水轮机的效率都相当低，除非在满负载条件下工作。但是，那时的美国工程师们利用的经常是排水量非常大的河流，可以获得的动力远超过所需要的动力。因此，与建造水轮机的最初成本相比，经济地利用水就显得不那么重要了。那个时期的目标就是设计出一台在给定尺寸下做功最大的水轮机，而几乎不考虑每马力所消耗的水量。然而到 19 世纪末，人们对混流式水轮机的设计细节给予了密切关注，以改善水轮机在较宽载荷范围内的效率。

531

反击式水轮机是在压力下运转的，因为它的内部完全充满了水，并且被置于供水水库或河流水面的下方。反击式水轮机的位置不必低于尾水渠（用于收集在水轮机内做功后被排出的水流）的水平面，而将水轮机抬高到尾水水位之上会带来更多的便利，有利于检查和修理，此时水通过一根抽水管排出。抽水管的设计非常重要，尤其在总水头（水源水位与尾水渠水位之差）相对较小时。抽水管的下端浸没在尾水渠的水中，使用时水轮机的位置不能高于尾水水位 25 英尺。容瓦尔在 1843 年首先提出了抽水管的想法，而对它进行有效设计的尝试则是受外流式水轮机上使用的博伊登扩散器设计的影响（边码 528）。假如抽水管的形状为扩散形锥体，排入尾水渠的水流的速度就会降低，从而减少高速流动的水排入低速区时必然会产

生的能量损失。

在冲击式水轮机的设计和制造方面也取得了重要进展。富尔内隆水轮机有时是在尾水水位以上排水的，其运转方式像冲击式水轮机，而人们的真实意图是希望它在被“淹没的”条件下运转。祖平格尔(Zuppinger)的切向水轮机是为高落差设计的最早的水轮机之一。在高落差情况下，为了获得所需的马力，在充满水的情况下运转的反击式水轮机的尺寸就可能小得无法使用。祖平格尔设想的精髓是通过一根管子和喷嘴将水导入水轮的戽斗或轮叶中，水量足以一次冲击几个轮叶，这样水轮机就能在部分给水的条件下运转。

大约在1856年，法国工程师卡隆(Callon)和吉拉尔(Girard)开始设计冲击式水轮机，以满足各种不同情况的需要——高落差和低落差，大水流和小水流。吉拉尔的一项极为重要的发明就是水轮机戽斗的通风设计，它能确保戽斗中保持大气压力，从而防止戽斗中充满水以及因水的反作用力而造成的部分反向运转。为实现这一目的，水轮的侧面钻有与每个戽斗相通的孔，以便让空气进入。到19世纪末，投入使用的吉拉尔水轮机的种类多得惊人，包括轴流式、内流式、外流式、立式、卧式和斜式。它们所利用水流的流速最高约为每秒钟150立方英尺，落差从几英尺到1800英尺。1881年，吉拉尔水轮机的输出功率达到82—400马力，效率为59%—79%，其中输出功率达400马力的是有着594英尺的可用水头、转速为210转/分的吉拉尔外流式水轮机。

532

机械的复杂性和费用的高昂，使吉拉尔所谓的“水气两用系统”的巧妙设想没有得到普遍采纳。为了充分利用所能得到的水头，在大气压下运转的冲击式水轮机应当尽可能地接近尾水渠，但要避免在洪水期间因尾水渠水位上升而出现水轮机被淹没的情况。将水轮机升高到安全的位置就意味着放弃水头，而在可得到的水头已经很小的情况下，水头是非常重要的。吉拉尔的解决方法是，把整个水轮机封闭在一个密封的机壳中，机壳的下端通到尾水水位以下，一个由水轮机驱

动的空气泵让水轮机保持足够的压力，以保证不管尾水渠水位如何，机壳内的水总是位于转轮之下。

在19世纪下半叶，佩尔顿（Pelton）水轮机在高水头的情况下得到了普遍应用。在机械方面，它比吉拉尔水轮机具有许多优点，特别是它的简单结构（图286）。从水管尾端喷嘴喷出的水流冲击到装在转轮上的弧形戽斗上，水从戽斗落入尾水渠，可以使用多个喷嘴，分别作用于转轮的不同部分。这种水轮机可以用调节器来控制，通过筒状阀或针状阀来调节通过喷嘴的水流的大小。为了避免当喷嘴骤然受阻时管内的震动，可先用一块横放的平板将喷射流引离转轮，从而使阀门本身的动作减缓。

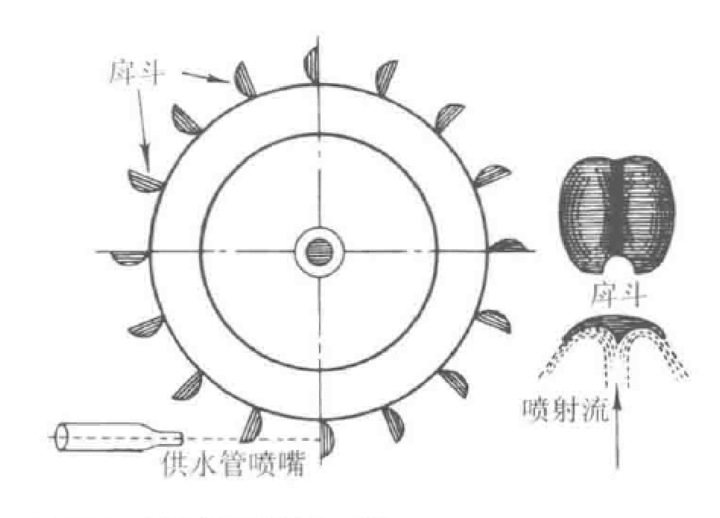


图286　佩尔顿水轮机原理图。

佩尔顿水轮机的由来非常有趣。大约在19世纪中期的加利福尼亚，人们用水力开采金矿时曾使用过功率非常大的喷射器。丹赫蒂（R. L. Dangherty）写道：

当黄金采尽以后，许多这样的喷射器曾被用来提供动力。第一批水轮机非常粗糙，常常是木制的，上面装有平板，水就冲击到平板上……进一步的改进是使用半球形的杯状物，喷射流正好冲击在它们的中心（大约在1870年）。一天，一个名叫佩尔顿的人正在开动这样的一个水轮机，突然水轮机的轴部松动了，开始打起滑来，水打在它的一侧边缘上，并从外排了出去。人们注意到这台水轮机的功率和速度都提高了，这导致了分水戽斗的发明（要达到理想状态，戽斗需完全逆转喷射流的方向）。

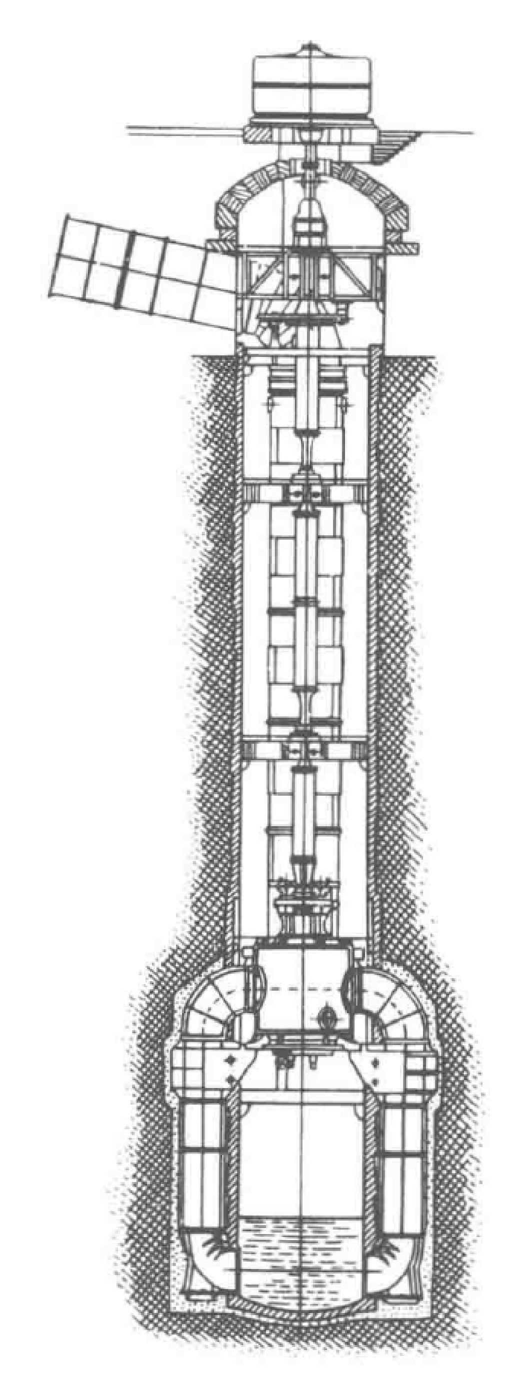


图 287 在水头为 133 英尺、转速为每分钟 250 转时能产生 1.025 万马力的双弗朗西斯水轮机的总体结构图。加拿大尼亚加拉动力公司。

大约在 1890 年，阿拉斯加的一座矿山上安装了一台 7 英尺的佩尔顿水轮机，水头为 400 英尺，产生的功率为 500 马力，驱动 240 台捣矿锤、96 台矿石碾磨机和 13 台矿石破碎机。另一台水轮机在约 2100 英尺的水头下运转。

简而言之，在 20 世纪初期，无论是冲击式水轮机还是压力式水轮机，都被认为适用于 300 英尺以上的水头。不过，除非需要极大功率，当水头高于 200 英尺时，冲击式水轮机更为适用。两种水轮机的满负荷效率都达到 80% 以上。

从 1870 年开始，人们似乎对开发尼亚加拉大瀑布用作水能来源的可行性进行过认真思考。1886 年，一个企业联合组织获得授权，从河的上游提取足够的水来产生 20 万马力的功率。当时，选择适用的水轮机很困难，该组织便向一个国际委员会寻求帮助。委员会对水轮机的设计进行征集，苏黎世一家著名公司的设计被选中。这一设计使用两台一样的容瓦尔水轮机，固定在同一个轴上，对它们的位置进行了适当的排布，以使旋转部分的重量保持平衡。然而，这家公司显然拒绝在美国制造自己设计的机器。

一开始，尼亚加拉工程设想使用一条始于在美国的瀑布上游 1.5

英里处宽为500英尺、深为12英尺的引水渠。沿着供水渠的边缘，人们挖掘了160英尺深的水轮坑用来容纳水轮机，尾水渠从每一个水轮坑中把水排入一个普通的隧道中，然后在低于瀑布处将水排出。瀑布全长为6700英尺，其中马蹄形部分高达21英尺、宽达19英尺。在隧道内的岩石表面，用水泥砌了4圈砖墙。到1894年，尼亚加拉大瀑布纸业公司(Niagara Falls Paper Company)已经拥有3台在140英尺落差下运转的1100马力的倒缸容瓦尔水轮机。1895年，尼亚加拉大瀑布动力公司(Niagara Falls Power Company)拥有两台水轮机，每台由两台固定在同一轴上的富尔内隆水轮机组成。这两台水轮机由瑞士公司设计和美国制造，在132英尺的水头下每台能产生5500马力，而且据称其满负荷效率为82.5%。虽然它们创造了令人满意的纪录，但是后来的5000马力和1万马力的水轮机都是径向内流式的。到1903年，加拿大尼亚加拉动力公司(Canadian Niagara Power Company)已拥有几台带垂直轴的双弗朗西斯水轮机，每台水轮机直接接到一台发电机上，在水头为133英尺、转速为每分钟250转时，产生的功率为1.025万马力(图287)。转动部分的重量(120吨)一部分与下部转轮底面(其下面的供水水压为水头的全压)的向上压力平衡，一部分与转动平衡活塞的向上压力平衡。图287所示的总体结构图展现了20世纪初期已有的一些进步想法。

534

其他水力设备 19世纪，其他各种水力设备也有许多发明和改进。斯蒂芬森(Robert Stephenson)曾使用液压千斤顶来升高不列颠桥的主梁(边码504)，布律内尔(I. K. Brunel)在1853—1856年建造索尔塔什大桥时采用了同样的方法。后来成为勋爵的威廉·阿姆斯特朗爵士(Sir William Armstrong，1810—1900)发明了一种用途广泛的液压蓄能器，有助于利用水能操纵起重机、升降机和其他机械，其中许多机械需在短时间内进行大量的作业，然后闲置一段时间。如果在这样的机械上安装水泵，则水泵的连续输出量可能比机械在其最大速率下工作

供水
低压水
高压水
固定液压缸
滑动柱塞
连接被
驱动机器

图 288 液压增压器，提供比供水水压更高的水压。

时（比如起重机在提升重物时）所需要的水量低得多。在载荷的高峰期间，可由液压蓄能器来带动机械。液压蓄能器由立式的液压缸和加重的柱塞组成，如果水泵泵出的水量多于所需的，则柱塞升高。整个结构可以设计成当柱塞达到其行程的上限时，就驱动一个联动装置来关闭水泵。

液压增压器也是重要的设备，可用来提供比供水主管水压更高的水压。液压增压器的简单示意图如图 288 所示，增压值取决于滑动柱塞的外径与内径之比。当柱塞到达冲程的底部时，允许驱动机器的高压水所进入的阀门关闭，然后开启固定液压缸排水，并让低压水进入柱塞的内部，从而使柱塞提升。这种液压增压器常常安装在 19 世纪用来测试材料的抗拉、抗压和抗弯曲性能的机器上，因为向这些机器供应的水都来自水压相对较低的城镇管路。

535

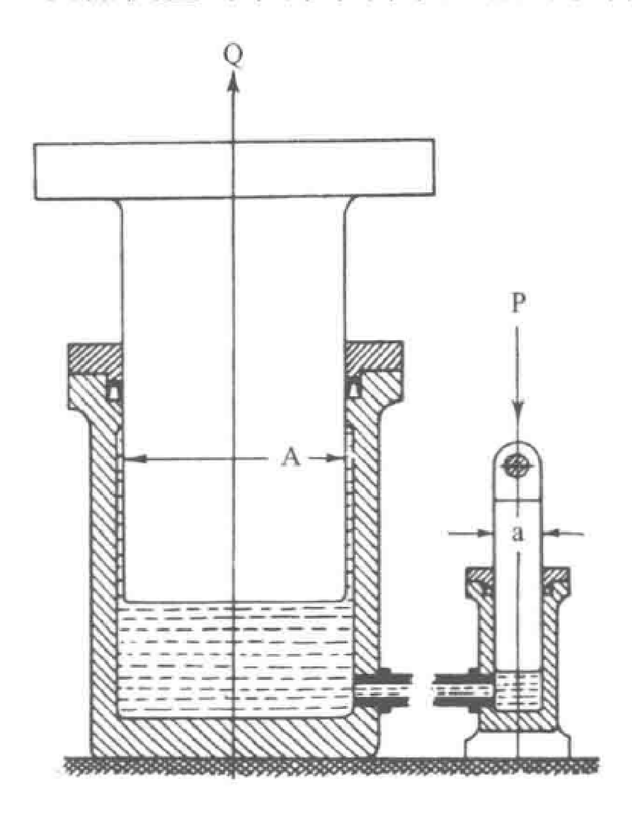


图 289 布拉默水压机。Q/P= 面积比 A/a。

在 19 世纪，水能的用途看起来几乎是无限的。在给福斯桥的桥墩打基础、挖掘坚硬的泥砾层时，承建商威廉·阿罗尔爵士（Sir William Arrol）发明了水力铲（图 264）。布拉默（Joseph Bramah，1748—1814）发明的水压机利用了“帕斯卡佯谬”——由斯蒂文（Simon Stevin，1548—1620）发现的一条流体静力学定律，它的原理是作用在小活塞上的一个小小的力会施加到液压缸

内活塞周围的液体上，这压力传递到大的液压缸上，就能支撑住放在第二个活塞上的大得多的载荷（图 289）。布拉默水压机曾得到多方面的应用，例如将棉花打包，给锅炉钢板制作凸缘，锻造巨大的钢锭。在后一种情况下，水压施加的压力缓慢而强大，在进行均匀的锻造方面较之汽锤有许多优点。利用水压机可以获得高达数千吨的压力。活塞液压的另一个用途（常常与蓄压器配合使用）是铆接（边码 355、边码 502），铆接机有移动式和固定式两种。

在用电力大规模传输能量之前（第 10 章），在由中心站的压力送水提供能量方面有许多值得称道的地方。阿姆斯特朗在这种供能系统中起了突出的作用。伦敦、曼彻斯特、格拉斯哥及其他城市都采用了这种方法，压力从每平方英寸 700 磅升到 1600 磅。在某些情况下，水压直接用来驱动升降机和起重机，多数情况下则是直接用来驱动各式水力发动机。到 20 世纪初期，用水向距离中心泵站 15 英里以内的地方输送能量被认为是经济的方法。

22.3 阀门、流量计和其他仪器

536

在水利工程史上，内史密斯（James Nasmyth，1808—1890）享有一项最简单但最有价值的设计荣誉。管路上的切断阀必须操作容易且动作可靠，能够起到不透水的密封作用。当有人向内史密斯指出早期的切断阀太粗糙时，他设计了一种双面楔形闸阀（1839 年），其所有的要素都与今天普遍使用的切断阀一样。

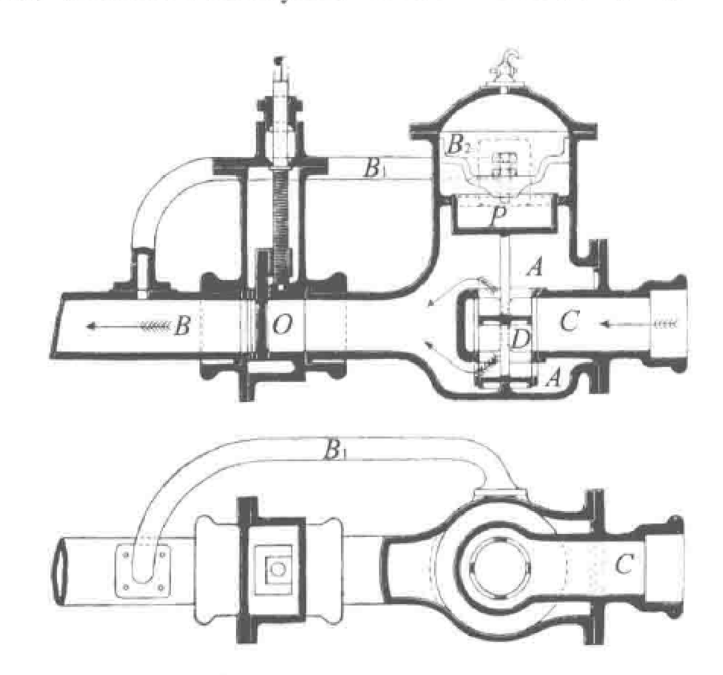


图 290 詹金的恒流阀。

19 世纪另一项巧妙的发

明是由詹金（H. C. Fleeming Jenkin，1833—1885）设计的恒流阀。从右边（图 290）进入的水通过管道 C 进入平衡阀 D，然后经过水室 A 和闸门 O 进入排水主管 B。闸门 O 可以进行调整，使管路 B 中的水流达到所需要的任何速度，这样设计的目的是为了在 A 与 B 之间保持恒定的压力差，从而使通过闸门 O 的水流保持恒定。为达到这一目的，把平衡阀 D 接到柱塞 P 上，柱塞 P 能在一个将水室 A 与另一个水室 B_2 隔开的隔板上方自由滑动，水室 B_2 通过管道 B_1 与排水主管 B 相连。如果水室 A 与水室 B 之间的压力差（它决定了通过闸门 O 的排水量）增大，柱塞 P 上升使平衡阀 D 闭合，如果压力差减小，则平衡阀 D 下降将口开大。通过这种方法，水室 A 与水室 B 之间的压力差不断地得到调整，从而达到所需的数值。

19 世纪初，还没有测量在压力作用下输送液体的管路中的液体流速的流量计，因此很难测定损耗，也很难测量功率。解决这个问题的早期尝试包括：(1) 活塞流量计，其构成中有一个由被测水流驱动的水压机，活塞冲程的长度和数目便可给出水量；(2) 小型反击式水轮机或称“巴克的水磨”，它的革命性标志是带有指针板的轮系；(3) 起流速表作用的小型螺旋桨。

不过，迪肯（G. F. Deacon，1843—1909）在 1873 年发明了一种简单的上升圆盘式流量计，它能在圆筒形的记录纸上表示出每小时的水流量。水通过一个锥形管（图 291），管内有一根带有一个圆盘 D 的杆。该圆盘的轴向运动受制于一根弹簧的阻力，并通过一支固定于旋转圆筒上且在纸面上运动的笔记录在记录仪上。当水管内的水流量发生变化时，圆盘上的压力也发生变化。可以在圆筒形的记录纸上刻上刻度，以便直接读出圆筒上的读数，例如每分钟的加仑数。

537

文丘里（G. B. Venturi，1746—1822）流量计（图 292）出现得较晚，这令人惊讶，因为它依据的伯努利（Daniel Bernoulli，1700—1782）定理在很久以前就已为人们所知。假定图中的液体由左向右流动，在

截面A与截面B之间的速度增大，而压力相应减小。在压力降（由A到B）与每秒流过的水量之间，存在着一个简单的关系。这个装置可以用作流量计，通过重新逐渐扩大B到C之间的截面，可以使管道恢复原来的尺寸，以连续输送液体。如果水管在B以后的直径始终与B处的直径相同，则水流经整个管子的阻力就会增大。因此，实际上需要做的事情就是在管道上形成一个收敛—扩散形的通路A B C，并在截面A和截面B的壁上做出压力孔，使之与记录两点间压力降的仪表相连。赫歇尔（Clemens Herschel，1842—1930）发明了这种流量计，将其命名为文丘里流量计以纪念文丘里的锥形管实验。大约自1894年起，这种流量计得到英国自来水公司和其他机构的积极采纳。

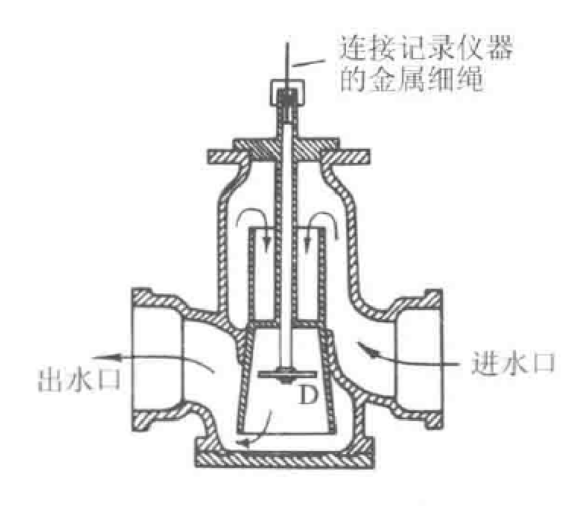


图 291　迪肯的上升圆盘式流量计。

1894年，人们在罗切斯特安装了一种电水位记录仪。今天，遥读式电气仪表已普遍用于水位仪和流量计。不那么令人吃惊的是钩尺，在1840年由美国马萨诸塞州波士顿的博伊登首先使用。钩尺（图293）的构成包括一个固定的框架、一根标尺和一个游标，游标安装在框架上，标尺可竖直滑动，在其下端带动一个尖头的钩子[1]。用一个细螺距的螺栓可使标尺作竖直运动，直到钩子的尖头正好接触到水的表面。根据水面沿着钩子的微小的毛细上升现象，可以使水位的测量达到很高的精度（约 ±0.01 英寸）。对于许多工程师和实验者来说，这种仪器在测量水位方面是非常有用的，例如在测定堰上

538

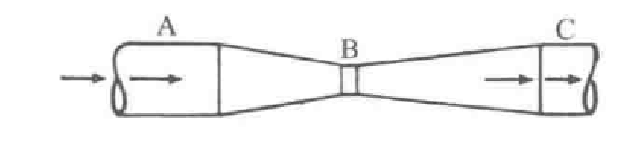


图 292　文丘里流量计的原理示意图。

1　现在比较常见的情况是：主标尺固定，游标活动。

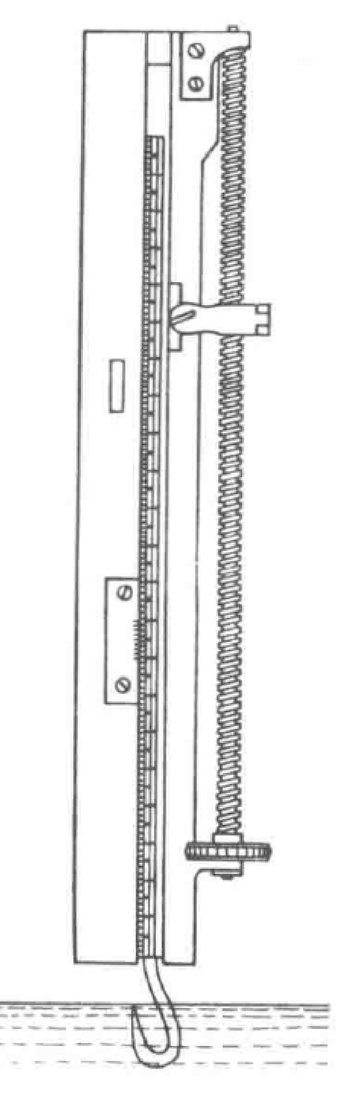


图 293　博伊登钩尺。

的水头时就是如此。

在测量压力方面，19世纪的工程师们已熟悉各种各样基于流体静力学原理的测量仪器，例如水银压力计。到19世纪50年代，法国工程师波登（Eugène Bourdon，1808—1884）设计的压力计也已面世，可以方便地安装在想要测定压力的管道或容器上。在压力计的外壳内是一根一端封闭、另一端与待测压力相通的扁平金属弯管，管子的曲率随待测压力而变化，当待测压力超过管子周围的压力时，曲率减小，当待测压力低于管子周围的压力时，曲率增大，管子封闭端的运动传递到一个可在刻度尺上移动的指针上。这种方便而小巧的压力计通常被安装在锅炉、发动机、泵和管道上，用来测定蒸汽、气体或液体的压力。但据1838年出版的特雷德戈尔德（Thomas Tredgold）所著的《蒸汽机》（*Steam Engine*）一书描述，测量锅炉压力的标准仪器的结构是一个直径约为0.5英寸、形状像字母U的弯曲铁管，一端与锅炉或蒸汽管道连通，蒸汽的压力驱使U形管底部的水银沿着管的另一个与大气相通的分支上升。水银上的浮子有一根垂直杆，它能测量出浮子的移动。

明渠中流速和流量的测量与封闭管路中的有所不同，这也引起人们很大的关注。其中一个问题是水面速度与水面下平均速度之间的关系，这一点影响了对用定时浮标在被测距离上方所得到的观察结果的解释。许多河流工程师对各种形状、尺寸和材料的浮标进行了试验，试图测定水面下的速度，也有人尝试用加重杆来测定平均速度。

估计河流或运河流量的最简便的方法，常常是测定相对于堰顶的水面的水位。19 世纪的水利工程师们为改进这项测量技术做了许多努力，更精确地测定了水头与流量之间的关系。在 1860 年以后的几个不同时期，他们公布了在流量范围很宽的条件下各种不同形状的堰的流量系数的重要测定方法。其中，引起人们特别关注的有：(1) 接近堰的水流速度对提高有效水头或堰顶有效高度的作用；(2) 堰的侧面或顶部施加于水的溢流层的收缩效应。

流速计实际上是一个转速取决于水流速度的螺旋状物，它的起源尚不清楚，但毫无疑问的是，大约从 1875 年起，它的设计以及在测量现场的使用方法得到了改进。在 19 世纪的各个不同时期，皮托 (Henry Pitot，1695—1771) 发明或使用的测速管也被精心改进，水流的作用可以使测速管内的水上升到沟渠的水位以上。很显然，皮托把浸入水中的管口扩大成漏斗形，但这妨碍了水流的正常流动。法国水利专家达西 (H. P. G. Darcy，1803—1858) 缩小了这一入口，从而减小了对水流的影响，并减小了水柱的振动。

22.4 港口

到 19 世纪初，港口的建设已经取得了显著的进步，这应归功于斯米顿 (John Smeaton，1724—1792)、伦尼 (John Rennie，1761—1821) 和特尔福德 (Thomas Telford，1757—1834)。后来这一领域的发展具有下列 5 个主要特点：(1) 海运贸易的增加和轮船尺寸的增大；(2) 港口设施靠近工业和商业中心，尽管这样做常常面临着巨大的天然障碍；(3) 蒸汽动力应用于起重机、打桩机、挖泥船和其他设备；(4) 包括混凝土在内的各种材料的改进；(5) 人们对潮汐、波浪和海流研究的重要性的认识日益加深。

在这里我们只能列举一些数据和实例来加以说明。1800 年，全年进入泰晤士河的船只约有 1.3 万艘，总吨位达 176 万吨。到 1891

年，船只数接近5.2万艘，总吨位超过1300万吨。据特尔福德记载，在19世纪初期进入利斯港口进行贸易的船只中，有3484艘船只的吨位低于200吨，吃水深度小于10英尺，只有4艘船只的吨位超过400吨，吃水深度达15.5英尺。与此相比，1891年有3749艘船只进入港口，平均吨位为333吨。在大潮时，闸槛处的有效深度为26.5英尺，这一深度对原来使用该港的其他船只来说是不够的。斯米顿制作的一张水路图表明，克莱德河在1834年"玛丽女皇号"(*Queen Mary*)下水地方的深度小于4英尺。1810年，在格拉斯哥登记的船只数为24艘，总吨位约为2000吨，到了1891年，船只数为1576艘，总吨位超过130万吨，此外在格里诺克还有309艘(总吨位为24万吨)。利物浦是航运迅速发展的另一个实例。

540

在19世纪(及以后)，伦敦、利物浦、格拉斯哥和普雷斯顿等许多地方，在改善引水渠方面取得了巨大的成就。在某些情况下，特别是在利物浦海湾和里布尔河口，建造了抛石导水墙，其目的是集中水流，加深水路。但是，以蒸汽为动力的挖泥船的发展对挖掘和保持所需要的深度起到了主要作用。18世纪晚期，为挖深克莱德河做的尝试曾获得一些成功，在这项工程中使用了马拉的普通犁来翻松在枯水位时干涸的沙地，对被水淹没的浅滩则使用了由位于河岸的手动绞盘来带动的特殊的犁和耙，被翻松的泥沙被退潮的潮水带走(参见第Ⅳ卷，边码629)。1824年，在克莱德河上出现了第一艘蒸汽挖泥船。1839年，这样的船在里布尔河上也出现了。1890年，两艘载重量各为500吨的挖泥船被用于利物浦海湾的默西河沙洲的开挖。它们是吸入式的，离心泵(边码524)的发明使这种方式变得可行。当叶轮造得足够大并且装有宽距叶片时，挖泥船便能够吸入与水混合在一起的沙子和大颗粒固体。3年后，一艘载重量为3000吨的挖泥船投入使用，在随后的很短的时期里又有其他的挖泥船投入使用，其中包括"海中怪兽号"(*Leviathan*)挖泥船，载重量为18

万立方英尺，能在50分钟内装满，抽泥的最大深度为70英尺。在1890年到1914年期间，朔望大潮低潮时，沙洲以上的水深从11英尺增加到了35英尺。

据说将水泵用于挖泥船的建议是由贝津（Henri Émile Bazin）在1867年提出的，在美国的首次使用（用的是一种“离心排泄泵”）则是1871年。从1877年以后，吸入式挖泥船在密西西比河上得到了非常广泛的应用（第Ⅳ卷，边码631）。

除了蒸汽动力的应用以外（虽然如果没有蒸汽动力的话，大部分其他领域的进步都不可能取得），各种类型的挖泥机械还取得了其他重要进展。吸入式挖泥船在前面已经提到了，软岩石是用钢爪取走，硬岩石则先用带凿尖的锤头破碎，然后再用抓取机取走。从苏伊士运河的一个沙洲上，人们用这种方法取走了约300万吨硬石灰石，其中有一艘挖泥船安装了10个带凿尖的锤头（或称割岩机），每个长达42英尺、重达4吨。在挖泥船井道的两侧各配置了5台割岩机，使用挖泥船的链斗和挖斗，粉碎的岩石可以通过井道被运上去。锤头在水力的作用下被升高，然后从10—20英尺的高度落下击打岩石，每小时可锤击200—300次，挖斗由一台200指示马力的四缸复胀式蒸汽机带动。在苏伊士运河工程上所获得的经验，对全世界挖泥工程和材料处理设备的发展产生了深远的影响。

541

在19世纪后期其他设计巧妙的挖泥设备中，有一种设备是通过拖在潮汐港淤泥中的管子压水，以搅动淤泥使之处于悬浮状态，这样在落潮时泥就会被潮流带走（蒂尔堡船坞，约1889年）。另一种挖泥设备是惠勒（W. H. Wheeler）设计的“侵蚀式挖泥船”，它有一个周边有许多切削刃的锥形切削器，转动速度约为每分钟100转，切碎河床上的物质，同时产生离心流，帮助水流把切碎的颗粒带走。

海运的发展促使某些港口产生了对浮坞的需求，在主要由安装有端头闸的闸室组成的浮坞内，能够检查或修理船只。将船只拖进去并

安全地固定到位之后，端头闸门就可以关闭，然后泵出浮坞中的水，整个船坞便漂浮起来，支撑着船只。1902 年，一个这样的浮坞横穿大西洋被拖到百慕大港口，它的总长度为 545 英尺，能够容纳一艘吃水深度为 32 英尺的船只。

22.5 排水、灌溉和土地开垦

19 世纪，在殖民地或有大量移民定居的新土地上，人们广泛采用了欧洲的工程技术来开垦土地。19 世纪早期，为了改进耕作方法以防止饥荒，印度东印度公司（East India Company）的工程师们曾做了极大的努力。首先是修复和改造旧的工程，然后是建造“英属印度的 3 个著名的典型灌溉系统：旁遮普的西朱木拿运河，联省的东朱木拿运河，以及马德拉斯管区的高韦里河三角洲水利系统”。东朱木拿运河系统的重修（于 1830 年重新开放）具有重要的历史意义，这一交叉排水工程“可能是英国管理印度期间所修建的第一个永久性的大规模运河工程”，其石堰装有回转式闸门，降下闸门可以让洪水通过，升高闸门则可以让运河恢复正常。在多沙的冲积土内挖掘此类运河，泥沙的淤塞常常造成麻烦。但是在这一工程中，运河过大的梯度使水流产生了巨大的冲蚀力并破坏了建筑物，因此必须采取补救措施，其中包括建造减小梯度的水闸。从这时起，许多在印度和埃及工作的欧洲工程师都研究了所谓的“运河态势”，即研究在一个给定尺寸的受侵蚀渠道中为保持特定的深度所需要的速度和斜度。同样，让各种堰、水闸、桥梁和坝免受冲刷的课题，在过去 100 年里也受到了特别关注。

1836 年至 1850 年这段时期，被称作印度水利工程的黄金时代。孟加拉炮兵上校（后成为爵士）考特利（Proby Cautley，1802—1871）所设计的恒河运河是印度北部第一条完全人造的运河。设计这条运河既为了灌溉，也为了在运河水源与坎普尔之间的 300 英里河段上进行

航运。运河的勘测始于1836年，建于1842—1857年，其建造曾因战争和叛乱而中断。在许多湍流交汇处的建筑物和排水渠的建造上，恒河运河表现出极高的技巧和独创性，例如拉尼布尔河的底宽200英尺、吃水深度为16英尺的砖石天桥，以及在特瑙拉的水平交叉建筑。在季风期间，拉特曼河（Ratman）的河水涌入运河，通过一个装有闸门（放下闸门可让下暴雨时的降水通过）的砖石“堰”排出。调节闸有10个跨度为20英尺的拱，能防止涨水时多余的河水流入运河。还有索拉尼（Solani）水管桥，它由15个跨度各为50英尺的拱构成，拱架在支墩上，支墩的基础打在索拉尼河的沙地里。通过一个170英尺宽、10英尺深的沟渠，恒河运河横穿索拉尼河。

恒河运河和上巴里多阿布运河（于1859年开放）依靠每年重新修建临时堰来导流。科顿爵士（Sir Arthur Cotton，1803—1899）在马德拉斯高韦里河建造了第一批永久性的渠道工程，后来又在戈达瓦里河三角洲整治工程中建造了更大规模的渠道工程。这些渠道工程包括2.25英里的堰、1.25英里的坝体和3个调节闸，每个调节闸都有船闸和底部泄水道。

在印度所取得的经验对埃及非常有益。1826年，阿里（Pasha Muhammad Ali）把棉花的耕种方法引入下埃及地区，这样就需要有能全年供水的河渠系统来进行持续不断的灌溉。当时，埃及有一些很深的河渠，甚至当尼罗河处于比洪水水位约低25英尺的低水位期，它们也能从尼罗河里获取少量的水。人们挖深了这些河渠，并另外开挖了一些河渠，以便一直都能为农作物提供充足的水源。然而，所有这些河渠在洪水期提供的水量远大于所需要的水量，河渠里的水在洪水期流动得很慢，河渠里淤积了大量的泥沙。由于当时还没有机械化设备，大量的泥沙只能靠征招的劳工运出。比较幸运的是，在努力解决这个问题的过程中，阿里聘请了外国工程师在开罗以北15英里处建造了尼罗河三角洲水坝，其目的是控制并阻挡尼罗河，从而提高它的

水位，使各河渠源头在夏季能有较高的水位。这样，河渠的深度就可以减小，每年的泥沙淤积量也得以降低。不幸的是，在沙质河床上建造这种水坝，在当时要比今天困难得多。工程大约在1861年竣工，但不能启用，因为人们发现工程的基础不牢靠。此项工程总共有132个水闸，可以在夏季关闭，还有3个作为河渠的进水口工程的调节闸。后来，来自印度的英国工程师们检查了这座水坝，指出该工程在已有的状态下可以部分地加以利用。在夏季，尼罗河的水位上升了3—4英尺。后来，人们根据在印度所取得的经验对它进行了整修，最终竟使尼罗河的水位上升到10英尺。到1889年，强制征招劳工来清理河道的制度已经取消。后来，人们在低于主结构处横过河床建造了辅助堰，减小了水坝承受的部分压力，并对尼罗河三角洲水坝进行了进一步的加固。

在1902年竣工并在1912年和1934年加高的阿斯旺水坝（第23章），完全有理由被看作最伟大的土木工程成就之一。当时曾提出许多方案来蓄存尼罗河过量的洪水，并利用它来增加夏季的流量。威廉·威尔科克斯爵士（Sir William Willcocks）提出的在阿斯旺建造水坝的建议，得到了以本杰明·贝克爵士（Sir Benjamin Baker）为首的一个国际委员会的赞成（1894年），尽管委员会成员布莱（M. Boulé）曾预言下游的岩石经受不了落水的冲击（后来建造了保护工程来防止这种侵蚀）。经过仔细的考虑之后，直坝优先于威尔科克原来设计的弧形坝而被采纳。由于水坝长达1.25英里，有180个水闸，加上施工现场和气候带来的许多困难，4年的建造期（1898—1902）已相当紧迫。首先在河流东面的3条河槽和河流中央的河槽上筑坝，待部分竣工的水坝的东面水闸打开之后，再在剩下的一条河槽上筑坝。为了便于施工，首先在选定的工程位置的下游建造了一个由巨石、沙子、水泥和沙袋构成的堤岸，然后在选定的工程位置的上游再筑起沙袋堰，堤与堤之间的水用泵抽出，在两边建好的堤岸的保护下建造水坝的基础和

下部。4个船闸上安装的是向侧面滑动到圬工结构闸门槽中的滑动闸门，而不是较常用的折叠式闸门。在建造阿斯旺水坝的同一时期，还建造了艾斯尤特水坝，其目的是提高上埃及尼罗河的夏季水位，以促进盆地河渠化并保证终年不断的供水。

由于认识到建造尼罗河三角洲水坝所遇到的麻烦，工程师们对艾斯尤特水坝的基础采取了十分周详的预防措施。建筑结构由10英尺厚的砖石砌筑的基础支撑，基础在水流多变处用连续的一排以水泥接缝的铸铁板桩加以保护，同样起到保护作用的还有石头护面的黏土和砾石护床。

艾斯尤特水坝和阿斯旺水坝都安装了斯托尼（Stoney）式钢门，虽然它们受到的压力很大，但是很容易操作。钢门升高后即可开启，充满泥沙的洪水从钢门下方流出去。钢门主要由钢闸板构成，水对闸板的推力通过耐磨的滚子传给位于下游的侧栓。在迎水面，水压作用在悬于闸板面和钢架面之间的角铁制的垂直密封柱上，实现了水封。在后来的许多类型的水利工程中，经常采用这种闸门。

在英国，最有意义的排水工程和开垦工程建于东英吉利亚的沼泽地区（第Ⅲ卷，第12章），那里仍在实施高造价的工程计划。19世纪在排水和开垦方面取得了许多进步，还提出了许多未能实行的改进方案，这或者是由于缺少资金，或者是由于对改进方案的效果没有把握，或者是由于当时没有一个有组织的总揽全局的行政管理机构来统筹处理整个地区的排水问题。很久以前，人们就认识到河道出水口的重要性，它不仅用来排泄流下的河水，而且可作为航道，从哪个方面来看都必须加以保护。地平面总是在下沉这一事实，大大地增加了排水的困难。

19世纪的人们在沼泽地区所做的努力，如同以前所做的努力一样，有时候获得了某些暂时的成功，后来却带来了失望。比较引人瞩目的工程有：（1）伊姆布林克（Eau Brink）运河工程（1821年），用于清理位于金斯林和圣杰曼斯之间被沙和淤泥形成的活动河床所阻

塞、宽度不断变化的大河湾；（2）宁河新河口工程（1830年）；（3）北莱韦尔的主排水道工程（1834年）；（4）韦兰河的新渠道工程（1838年）。最后一项工程必须建造导水墙，导水墙由长为6英尺、宽为3英尺的荆棘捆堆积而成，每捆荆棘在堆积过程中都要用黏土或草皮压上，直至河岸大致达到半潮水位。荆棘互相交错，并陷进淤泥里形成坚固的堤坝。在威瑟姆河口，也实施了类似的柴捆工程（1841年）。穿过威瑟姆河口外侧的沼泽地开挖了新的沟渠，并扩大了波士顿上游的大水闸（1884年）。1846年，诺福克大河口公司（Norfolk 545 Estuary Company）成立，它表面上是要从沃什湾里围垦新的土地，但事实上它多年来都在努力使大乌斯河走一条更稳定、更深的河道，并经伊姆布林克运河入海。

由于蒸汽机和离心泵的发展，沼泽地带也发生了重大的变化。1819—1820年，人们在10英里堤岸安装了一台由蒸汽驱动的30马力的水泵，紧接着又安装了许多台：

> 沼泽地带常常遭水患，
> 科学是根治水患的妙方，
> 如果借用蒸汽的威力，
> 破坏者难以再肆虐。

由风力驱动的扬水车（斗轮）（第Ⅲ卷，图版20）日渐衰落，不过仍然是英国东部一道独特的风景线。在1851年的万国博览会上出现了一个令人惊奇的新事物，那就是阿波尔德的离心泵（边码525），它几乎立即在沼泽地带得到了应用。到1853年秋天，惠特尔西米尔有1000英亩土地变成了金黄色的田野。

强烈的排水引起了泥炭的收缩。1851年，人们在某处坚固的黏土里插入了一根铁柱，并使它与地平面持平。到1860年，它露出了

近5英尺。到1892年，它露出了10英尺多一点。到1932年，它露出了10英尺8英寸。

20世纪，欧洲最早开展围海造田工程的是荷兰，这些工程依循了历史上的范例，并且事实上早在17世纪就有人提出过（第Ⅲ卷，边码300）。大约在1840年，将须得海（荷兰）改变成内陆湖的想法就已定型，并在工程师莱利（C. Lely，1854—1929）的努力下最终被采纳。将艾瑟尔湖（现名）与北海分开的主坝长达20英里，在1932年竣工。两块圩田的面积为17万英亩，周围用副堤围起来，并用泵将水抽干，第三块圩田正在改造中。

22.6 水力科学的发展

1801年，柏林的艾特魏因（Eytelwein，1764—1848）出版了他所著的《力学和水力学手册》（*Handbuch der Mechanik und der Hydrqulik*）。在这部著作里，他作出了这样精辟的阐述：复式管道中的水流、喷射流的运动及其对表面的冲击，当水轮的圆周速度达到水流速度的一半时，水轮具有最大效能（参见第Ⅳ卷，边码203）。

546

在整个19世纪，运动中的水的课题引起了许多才华横溢的实验者和数学家的兴趣。一般来说，早期的研究者及其追随者都满足于研究无摩擦、不可压缩的理想流体，数学在实际问题中的适用性必然有限。19世纪所取得的进展的特征就是根据观察和已有的理论来建立起符合实际的公式，那时的理论不仅部分地解释了所观察到的事实，而且为推断或归纳普遍性的规律提供了一定的基础。虽然巨大的进展是在20世纪取得的，但现在仍可以说，19世纪取得了更伟大、更本质的进展。

1827年，彭赛列（1788—1867）发表了他的论文《论曲面轮叶式水轮机》（*Mémoire sur les roués hydrauliques à aubes courbes*），描述了他对具有曲面轮叶的新型下击式水轮机所做的试验（边码529）。由

于认识到曲面轮叶能够不受冲击地接受水流，并将水低速排出，他把这种水轮机的效率从原来的 25% 提高到了 60% 以上。建立第一个精确的水轮机理论（1838 年）的功绩也属于彭赛列，他在莱斯格罗斯（Lesgros）的协作下，对孔口进行了大量的试验。彭赛列和其他的法国工程师把力和在力的作用下通过的距离的乘积所表示的量称做功（*travail*）。许多年后，明确的译名“功”（work）才成为英语中的科学用语。甚至到 1841 年，后来担任剑桥三一学院院长的休厄尔（William Whewell）仍称之为“工作的力”。

在 1866 年出版的《水力学研究》（*Recherches hydrauliques*）中，达西和贝津通过一系列精妙构思的实验对管中和沟渠中的水流进行了研究。1837 年，拉塞尔（John Scott Russell）公布了他对波浪的引人瞩目的实验，推导出了一些经验公式以描述他的观察结果，这些公式后来经过数学推导被证明是正确的。都灵大学水力研究所的比多内（Bidone）在 1820 年至 1830 年间也做了令人瞩目的工作，格林（Green）、兰金（Rankine）、麦科恩（McCowan）和斯托克斯（Stokes）在波动研究的数学方面作出了贡献，斯托克斯还研究了黏滞流体以及其中球体的低速运动。

对工程师而言，摩擦既与材料有关，也与横截面的形状和大小有关，这是在管道和明渠的设计中最为重要的问题之一。在这方面，贝津为了在量上表达这种关系而推导出著名的经验公式，它与后来得出的任何公式一样正确，虽然在实际计算中它也许不像某些公式那样方便。

大约在 1870 年，弗劳德（William Froude）在托基所做的经典实验研究了在水中被牵引的平表面所受的阻力，他还采用了借助缩尺模型来预测船舶受到的阻力的方法（边码 387）。这种方法是把一个模型（比例为 1 : S）拖过一个长沟渠，并测量它受到的总阻力，牵引速度的选择与预计的实际尺寸的船舶速度有关，以使它们的“弗劳德数”相等。这就是说，如果 v_1 表示实际船舶的速度，

547

则其模型应在 v_2（等于 $v_1/\sqrt{S}$）的速度下进行试验。根据对相近材料粗糙度的薄板所做的实验结果，可以估算出模型的表面摩擦阻力，将其从测得的总阻力中减去，便可以估算出与模型形状有关的由波浪和旋涡产生的阻力。将该数值乘以 S^3，必要时对水的不同密度也加以考虑，就能预测出波浪和旋涡对实际船舶产生的阻力。将该数值加上估算出的船舶的表面摩擦阻力，便可算出船舶受到的总阻力。

但是从根本上说，19 世纪对水力学乃至最广泛意义上的流体力学作出最重要贡献的是欧文斯学院（后来的曼彻斯特大学）的第一位工程学教授雷诺（Osborne Reynolds，1842—1912）。我们可以很有把握地预言，他在 1883 年发表的一篇论文中描述的一系列实验，将永远是科学经典之作。雷诺使用的仪器很简单，一个长为 6 英尺、截面为 18 英寸见方、四侧是玻璃的水槽，里面有一根水平放置、管口为喇叭形的玻璃管，玻璃管穿过水槽的一端与一根垂直放置的带控制阀的管道相连。在水槽外放一个装有染液的烧瓶，将一根管子的一端插入烧瓶的染液中，另一端穿过水槽壁接在位于上述玻璃管喇叭口内部的一个细小的喷嘴上。水槽中漂浮着一个小球，它通过细杆与一个有指针的机械装置连接，通过指针在圆形刻度盘上的位置就能够测出水位。实验操作方法如下：往水槽里放水，并让水静置一段时间，消除最初的扰动。接着轻轻地打开控制阀，细丝状的染液进入玻璃管的喇叭口并进入整个玻璃管内。记下水槽内水面的下降速度，就可以得出水沿管子流动的速度。低速时，染液丝保持平直而稳定的状态；高速时（当控制阀逐渐开大时），可看到染液丝散开并开始向水里扩散，展现出旋涡的形状。

雷诺用这种简单的方法直观地演示了流体的两种运动方式——层流（或线流）和乱流（或紊流）。两者物理性质的差异可阐明如下：假设某一流体以每秒恒定的流量流过一根管道，P 为管道内部的某一点。

548

如果运动方式是层流，则流体通过 P 点时的速度在大小和方向上都恒定不变。反之，如果运动方式是乱流，则流体通过 P 点时的速度在大小和方向上就会发生波动，甚至在流体每秒钟沿管道流过的流量始终相等时也是如此。

雷诺还进一步阐明了确定运动为有序或无序的判据。当具有给定运动黏度的流体在给定直径的管道中的流速超过某一临界值时，便产生了紊流。此外，增大管道的直径或者减小流体的运动黏度，临界速度就会降低。这个确定运动方式的判据，事实上是一个无量纲的量 vd/ν，其中 v 表示速度，d 表示直径，ν 表示运动黏度。这个量被称为“雷诺数”。雷诺的贡献远不止于此，他的研究还解释了先前的管道阻力研究者提出的表面看似反常的现象——有时候，阻力似乎是随着速度的提高而成比例增加，而在另一些情况下，阻力几乎与速度的平方成正比。在雷诺的研究结果公布之后，人们才明白前一种情况下的运动是层流运动，而后面的阻力定律只适用于紊流运动。

他的这些实验使他名垂青史……（雷诺研究工作）的重要性随着空气动力学的发展而变得越来越明显，如果没有雷诺数的话，实用空气动力学是否能取得真正的进展都值得怀疑，它会因积累起来的大量数据而窒息。

对于水力科学来说，也是如此。

雷诺在这个水力科学的黄金时代所作的贡献，绝不仅限于前面所谈到的那些。1875 年，他取得了一项改进离心泵的专利，其中包含了多级泵的设想，以及在叶轮周围安装导叶和扩散通道以在泵中实现动力水头到压力水头的转变从而提高效率的设想（边码 526）。第一台基于该设计方案的水泵，由曼彻斯特的雷诺实验室制造并试验。

另一个方面，雷诺的天才对水轮机以及其他机械产生了意义深远的影响，虽然这种影响乍一看似乎是间接的。他在1886年发表的论文《润滑理论》(*On the Theory of Lubrication*)中，运用流体动力学方程解释了油膜是如何保持在两个相对运动的表面之间并承受巨大压力的。他的分析促进了轴承的发展，其中包括大型水轮机上经常使用的、能满足严格的载荷和速度条件的轴承的发展。

549

为了测试原动机，必须有某种形式的制动装置来测量输出马力。在许多方面，液压测力计都比机械的摩擦制动器优越得多，弗劳德测力计便是实验台上众所周知的仪器。雷诺后来在某个场合解释道，将离心泵的壳体或内部有桨状物或螺旋状物运转的箱子安装在发动机的轴上，使其在轴静止时保持平衡是可以做到的，条件是轴转动时的阻力力矩要等于使离心泵壳体绕轴旋转所需的力矩，“通过在离轴有一定水平距离的位置悬挂重物的方法可以很容易地测出该力矩”。他进而表示，伊恩(Hirn)在1865年首次使用了这种装置，而他本人在1877年公开了他是如何利用悬挂在一台多级汽轮机轴上、转速高达每分钟1.2万转的离心泵来测量功率的。在同一场合，弗劳德(边码387)描述了他的用于测定大型发动机功率的水力制动器，这与以前的设计有着本质上的差别，能产生与其尺寸对应的相当大的阻力。因此，雷诺试验了一个直径为4英寸的弗劳德制动器模型，并在此基础上设计出一种重要的改制品。测力计的阻力由位于转动轮叶和外壳形成的水室中的水的强制循环产生，这种强制涡流自然会使内部的压力低于外部的压力，在一定的载荷和速度条件下，中心部分的压力会低于大气压力，从而导致空气进入和积聚，从而排出水并引起不规则的、起干扰作用的阻力下降，这种作用将使设备无法使用。雷诺克服这个缺陷的方法是在位于固定壳体上的金属导轨上钻孔，孔通过一个环绕在其周围的通道与大气相通。这样，在任何运转情况下，涡流中心的压力都与大气压相同。

在19世纪末，雷诺利用这种经过改良的弗劳德制动器重新测定了热的机械当量。往制动器中送入处于冰点的水，送入的水量要进行调节，以使水温在制动器内的摩擦作用下升高到沸点。这样，温度的测量就与温度计刻度的精确度无关了，因为温度计只需标示出两个标准温度。为了尽可能减少因辐射和传导所造成的热量损失，雷诺采取了小心细致的预防措施。在一次历时1小时的试验中，温度升高到100℃时的水量接近1000磅。

550

在20世纪，对河流和港口问题的研究越来越借助于缩尺模型。许多国家专门为此建立了实验室，其中的一个实验室竟然雇用了300人，而且不久前科学和工业研究署在英国建立了一个水力学研究站。就这一领域的重要科学进展而言，雷诺也是举足轻重的人物。

1885年，雷诺根据科学原理制造了第一个有潮河模型，当时标示的计算方法基于如下假定——潮波的速度与其所处水深的平方根成正比。开始时，他似乎只想演示默西河河口水的循环以及伴随产生的涡流，验证他的关于水循环及其导致沟渠形成的第二效应理论是否正确。然而，他的兴趣显然越来越浓厚，观察到位于模型底部的平坦的沙河床被潮水冲成了堤岸和沟渠的形状，出现了类似天然河口常见的地形特征。“而且，更重要的是，”他写道，“在模型中可以清楚地看到形成这些地形及一切次要地形的原因。”1887年，他向英国协会报告了这一发现，后来在协会的资助下继续进行了这项研究，主要目的是改良技术并探明这种模型的河床的形状受其水平尺寸和垂直尺寸的影响究竟有多大。他在一篇声明中说道：

与此同时，我请求大家注意这些结果，因为这种实验方法似乎对研究和预先确定任何拟议中的河口工程和港口工程的效果提供了一个现成的手段。根据我的研究结果，我认为在着手进行任何耗资巨大的工程之前忽视这一手段都是愚蠢的。

持怀疑态度的人用疑惑的眼光看待这种方法，主要理由是在这样的模型中使用的沙子的比例是不正确的，而且垂直尺寸相对水平尺寸来说显得太大。但今天，凡是有责任心的水利工程师几乎没人再对雷诺的论断提出异议。改善和控制河流的问题常常很复杂，加上根治河流的费用又很昂贵，因此，即便是实验室提供的定性指导也很受欢迎，而且常被公认为具有真实价值。

参考书目

Babbitt, H. E. and Doland, J. J. 'Water Supply Engineering' (4th ed.). McGraw Hill, New York. 1949.

Bodmer, G. R. 'Hydraulic Motors: Turbines and Pressure Engines' (2nd ed.). London. 1895.

Darby, H. C. 'The Draining of the Fens.' University Press, Cambridge. 1940.

Daugherty, R. L. 'Hydraulic Turbines, with a Chapter on Centrifugal Pumps' (3rd ed.). McGraw Hill, New York. 1920.

Fleming, A. P. M. and Brocklehurst, H. J. 'A History of Engineering.' Black, London. 1925.

Gibson, A. H. 'Hydraulics and its Applications.' Constable, London. 1908.

Institution of Water Engineers. 'Manual of British Water Supply Practice' (ed. by A. T. Hobbs and J. E. Hobbs, 2nd ed.). Heffer, Cambridge. 1954.

Kirby, R. S., Withington, S., Darling, A. B. and Kilgour, F. G. 'Engineering in History.' McGraw Hill, New York. 1956.

Newhouse, F., Ionides, M. G. and Lacey, G. 'Irrigation in Egypt and the Sudan, the Tigris and Euphrates Basin, India and Pakistan.' Longmans, Green, London, for the British Council. 1950.

Norrie, C. M. 'Bridging the Years: a Short History of British Civil Engineering.' Arnold, London. 1956.

Rankine, W. J. M. 'A Manual of the Steam Engine and other Prime Movers' (rev. by W. J. Millar). London. 1891.

Rouse, H. and Ince, S. 'A History of Hydraulics', Iowa Institute of Hydraulic Research, State University of Iowa. 1957.

Straub, H. 'A History of Civil Engineering' (trans. from the German by E. Rockwell). Hill, London. 1952.

Van Veen, J. 'Dredge, Drain, Reclaim: the Art of a Nation.' Nijhoff, The Hague. 1955.

Wheeler, W. H. 'Tidal Rivers.' London. 1893.

Williams, A. 'Victories of the Engineer.' Nelson, London. 1916.

See also *The Engineer*, *Engineering*, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, London*, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, London*, and 'Encyclopaedia Britannica' (especially articles on "Hydromechanics" by W. C. Unwin, 1876).

第23章　供　水

F. E. 布鲁斯（F. E. BRUCE）

23.1　导言

552

对于生活和许多工业来说，水都是头等重要的必需品。19 世纪下半叶，城镇和工业的迅速增长要求供水量也相应地增加。早在 19 世纪初期，关注公共卫生的人士已经意识到人们对更多更好的水的需求，此时更是达成了社会共识。耗水量的增加速度是很惊人的，例如伦敦各供水公司的供水量从 1849 年的每天 4440 万加仑增加到 1901 年的每天 2.15 亿加仑。在布拉德福德这一耗水量增长迅速的工业城市里，公共供水量在 1855 年到 1873 年之间几乎增加了 18 倍。

耗水量的增加，不仅因为工业规模的扩大和城市人口的增多，还因为习惯的改变。供水范围已扩大到以前使用井水或其他私人水源的用户，并且抽水马桶和以前使用较少的浴盆已开始得到普遍的应用。

深度开发城镇附近可用的水源在许多情况下被证明是不合适的，有关当局只好开发远处的水源。这样做往往是因为当地的水源不能供应足够量的水，而且本地的小溪和河流日益严重地受到未经处理的污水和工业排废的污染。某些城市利用从深井中泵出纯净的地下水的方法解决了这个双重难题，其他无力或不愿意开采未污染水源的城市则不得不特别注意地表水的净化。在 19 世纪末期以前，人们已在水过滤这一水处理的基本方法上取得了巨大进展。医学知识的进步和细菌

学的兴起为纯净水的重要意义提供了明显的证据，并且为评定水的质量提出了新的标准。

23.2 供水机构

19世纪初期在为数不多的地区建立起来的销售水的公司，很少能筹集到必需的资金来开发主要的新水源，尤其是开发需要建造蓄水库和长距离输水道的水源。许多供水公司只能向当地的一小部分家庭供水，而且当时只能间歇地每天供水1—2个小时。即使在像伦敦这种有足够水资源的地方，供水公司也不愿意持续供水，因为他们害怕因泵水系统故障而导致的管道漏水及用户使用不慎所造成的严重损失。除了家庭需要用水，清扫街道、灭火、冲洗下水道、公共浴池和洗衣店（第一家洗衣店是于1842年在利物浦开设的）也需要用水。对于这些公共用途来说，间歇供水不能令人满意，对于灭火来说则更不合理。

553

因此，大城市的政府相继接管当地的供水系统。1847年，曼彻斯特市政府得到国会授权，接管了曼彻斯特和索尔福德的供水公司，并着手开发德比郡朗登代尔河谷的水源。后来，市政府还搞了一个雄心勃勃的计划来提高瑟尔米尔湖的水位，并通过96英里长的输水道把水引入城内。1848年，利物浦获准建造自己的供水系统，并于19世纪80年代在距北威尔士77英里处建造了韦尔努伊水库。1855年，格拉斯哥收购了两家现成的供水公司，并启动了利用卡特林湖水源的计划。伯明翰直到1875年才获得对供水系统的控制权，如同在其他城市一样，当地的水源变得日益缺乏，所以市政府在1893年至1904年间相继建成了三座水坝，从而扩大了中威尔士埃兰（Elan）河的集水面积。

上面所讲的是英国最重大的市政项目中的一些例子，其实各地都有类似的情况。许多城市在与国会进行了多年争论之后才取得控制权，

反对意见不仅来自原有的供水公司，而且也来自纳税人，特别是小地主，因为他们预见到建造新的工程要花很多的钱，而供水状况的改善并不会带给他们多少直接利益[1]。只有少数实力雄厚、务实高效的供水公司，才能与这一流行趋势进行抗争，包括向布里斯托尔、赫尔福德郡的科恩山谷地区、朴次茅斯、南斯塔福德郡以及森德兰和南希尔兹等地区供水的公司。

1902 年以前，伦敦仍由 8 家供水公司供水。卫生总署曾在 1850 年建议把伦敦的供水公司收归公众所有，但由于这个问题重大而复杂，加之没有一个团体能够把复杂工程接管过来，事情便搁置起来。1888 年，伦敦郡议会成立，英国的首都终于有了单一的政体。然而，尽管议会提出过好几个主张把供水置于公众管理之下的提案，但由于反对者过多而均告失败。最后，1897—1900 年这一届的皇家委员会建议成立一个特别团体接管供水公司，于是大都会水务局[2]在 1902 年宣告成立。

554

围绕着能否不再把污染了的泰晤士河水用作伦敦主要水源的问题，许多官方机构进行了调查。卫生总署在 1850 年公布的报告中提议从萨里与汉普郡交界地带的砂石层中抽水，另一届皇家委员会（1869 年）否决了在威尔士和湖区修筑蓄水库的提议，包括在另外几个地方的工程项目计划。1897—1900 年这一届的委员会也反对从威尔士引水的提议，因为他们认为应当继续利用泰晤士河和利河的水，辅之以东南地区的井水。

由于城镇供水日益得到保障，分配系统得到了扩展，因而许多先前城镇居民赖以取水的井就被废弃了，间歇供水逐渐为不间断供水所取代。1873 年，《工程师杂志》（*The Engineer*）评论说：“持续的加压供水为人们长久以来所渴望，幸亏道德上的压力似乎对获得必要的物理压力是很有效的。伦敦的大部分供水公司正计划保证持续供水，有些供水公司已经部分地做到了这一点。”[3]到 19 世纪 90 年代，英国大

部分地区都有效地实行了持续供水。

其他国家的发展趋势与英国很相似。在19世纪末期以前，欧洲大陆各国的大部分（即使不是所有的）供水公司就被地方政府接管了[4]。包括阿姆斯特丹、安特卫普、柏林和圣彼得堡在内的许多供水公司，都是由英国工程师建造和管理的。

美国的各个城市也同样遇到用水需求剧增的问题，这种供需矛盾有时甚至比欧洲城市所遇到的更尖锐。19世纪30年代，纽约在其北面35英里处的克罗顿集水区域蓄了水，但市政府到了1883年发现，必须建造大得多的水坝和规格空前的输水道才能满足始料未及的用水量增长的需求[5]。和其他国家一样，美国一般也是由市政府把供水公司收购下来，16个最大城市中，到1860年已有12个城市的供水公司收归市政府所有[6]。

555

23.3 水源的开采

在寻求更丰富、更纯净的水源的同时，某些地区通过汲取泉水或打井取水来满足用水需求。汲取泉水通常只限于小城镇，但有些大城市特别是欧洲大陆的大城市，也完全或部分地依赖泉水来生活。巴黎就是一个最突出的例子，它在1865年和1871年分别建造了两条长度为81英里和106英里的输水道，把杜易斯和阿什韦克新城的泉水引进市内。其他主要依赖泉水供水的大城市，还有维也纳、慕尼黑，以及英国的布里斯托尔和朴次茅斯。

在英国中部和东南部，许多城镇和工业区是从打入石灰岩或砂岩的井或钻井里抽水的。由于当时仅能买到尺寸很大的往复式水泵，通常都打成直径达15英尺甚至更大的广口井。用冲击法钻的钻井直径要小得多，在地下水水压高、用水泵便能抽出水来的地方可以钻这样的井。缪洛（H. M. J. Mulot）在巴黎格勒内勒钻的一口深钻井表明，按照当时手头可靠的地质资料来仔细地选择井址非常重要。钻这口井花

了7年多时间，其间好几次为修复用坏的工具耗时很久。1841年2月26日，水终于从1800英尺的深处冒了出来。缪洛的预言得到了证实，他的坚持不懈的精神得到了回报。这口钻井每天可出80万加仑的水，自流水压足以使水升到地平面以上122英尺。另一口位于法国帕西的钻井在1861年完工，深度为1920英尺，最初每天可出450万加仑的水[7]。

由诺顿(Norton)取得专利的管井可用于较少量的水供给，在1868年阿比西尼亚战争初期曾为英国陆军所采用(因此这种管井常常被称为诺顿管井或阿比西尼亚管井)。这种管井不仅可用于紧急情况或临时目的，也作为长久的水源给城镇供水。它的直径一般为1—3英寸，深入地下的深度不超过80英尺，若地层构造合适，每小时可出水3000加仑。

获得地下水的另一个方法是在靠近河床的砾石层或砂层里建造渗渠，这样能确保得到经天然过滤的固定水量。在珀斯，水是从泰河中一个砾石岛下的渗渠中抽上来的。诺丁汉和德比使用了渗渠，美国和欧洲也建造了许多渗渠(图294)[8]。

这些水源开采使用的都是既定方法，因为在20世纪前半叶，利用地下水的技术并没有取得重大进展。但是，在利用地表水方面有了惊人的进步，在河流上游的山谷建造的大型水库，使得大自然的面貌发生了变化。在英国，尤其在靠近北部各工业城市的奔宁山地区，由于山谷浅小且缺少坚固的基岩，人们建造了用胶泥作中心填料的外体平滑、倾斜的土坝(边码522)。随着对土

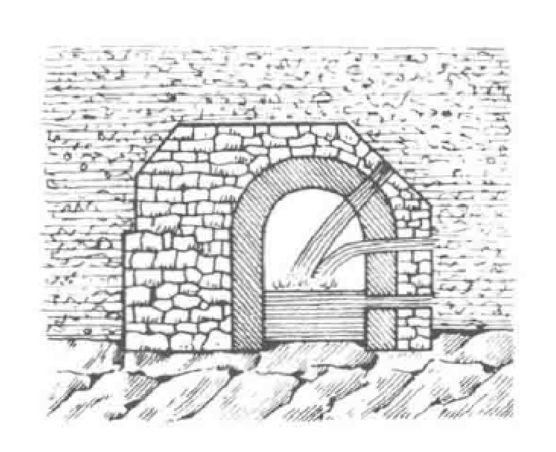


图294 位于斯克里维亚河流域的渗渠(向热那亚供水)的截面图。图示的这段渗渠横跨河床底部，形成一道地下坝，来自砾石层的水由上游方的管道进入，依靠重力作用，通过两根18英寸的铸铁管送往16英里外的热那亚。

坝性质和坝体稳定性认识的增加，土坝的设计不断地得到改善。偶尔发生的一些事故，特别是 1852 年霍尔姆弗思大坝的崩塌和 1864 年代尔戴克大坝的溃决，都是缺乏精确的资料而造成的(边码 523)。

法国工程师不太相信土坝，认为土坝的建筑高度若是超过 60 英尺就有崩塌的危险。在法国，为控制洪水需要建造 150—200 英尺高的大坝，这促使人们对建筑石坝的原理进行了理论研究。1853 年，萨兹利(de Sazilly)提出了第一个符合要求的基本设计原理，指出除了考虑坝的抗倾覆和抗滑坡的稳定性，还必须计算坝的内应力，并把内应力与材料的强度联系起来。几年之后，德洛克尔(Delocre)进行了类似的研究。他们二人都推荐这样一种坝型：当水库空着的时候，水库的迎水面正好达到容许压应力，而当水库装满水的时候，水库的背水面达到最大容许压应力[9]。

按照这个原理设计的第一座水坝是在 1861—1866 年建成的弗伦斯大坝，大坝的双重功能是供水和防止圣艾蒂安受洪水之害。在将新的理论应用于这样的大型结构时，两位设计师德洛克尔和格雷夫(de Graeff)表现出了勇气和信心，在建造时特别仔细小心，大坝取得了完全的成功。在此之后，他们还建造了好几座根据这一原理设计的大坝。图 295 把这种优美的轮廓线同阿利坎特大坝(1579—1594 年)的轮廓线做了对比，后者是早期经验型筑坝的一个典型。

对于水坝的设计来说，萨兹利和德洛克尔所公布的原理仍然是重要的基本原则。但是，内应力的计算方法由许多工程师和数学家进行了改进，其中特别应当提到的是兰金(W. J. M. Rankine，1820—1872)，他在 1870 年指出，应当加以考虑的是倾斜的应力，而不只是它的垂直分量。同时，兰金还强调了“中心三分之一”原理在避免可能使砌筑体裂开的张应力方面的重要意义。

557

英国第一座高石坝由霍克斯利(Thomas Hawksley，1807—1893)和迪肯(G. F. Deacon)设计，选址在北威尔士韦尔努伊河上，是为

了向利物浦供水而于1881—1889年建成的（边码553）。这是一座溢流坝，也就是说，坝顶的全部长度都建造成溢流堰，以便使多余的水流过，并在防波堤顶上修建了一条车道（图295，图版33B）。为了保证不透水，石坝采用了很高的建造标准，并使用了可能得到的最大的石块，其中1/3的石块每块重达4—10吨。1896年，迪肯在英国土木工程师学会描述这座水坝时说："1881年以前，欧洲或许尚未有过不透水的高石坝，然而一位英国工程师却愿意承担此项建造重任。"[10]这种谨慎的态度还反映在与较高的弗伦斯水坝相比，这座水坝具有相当厚的截面。不过，迪肯不同意霍克斯利的意见，他认为无须设计得这么厚实。

558 在英国建造的其他重要的石坝是瑟尔米尔水坝（1894年）和埃兰河上的三座水坝。提鲁梅雷水坝是为了向曼彻斯特提供蓄水而建造的，它把原来的湖水水位提高了50英尺。埃兰河上的三座水坝则在1893

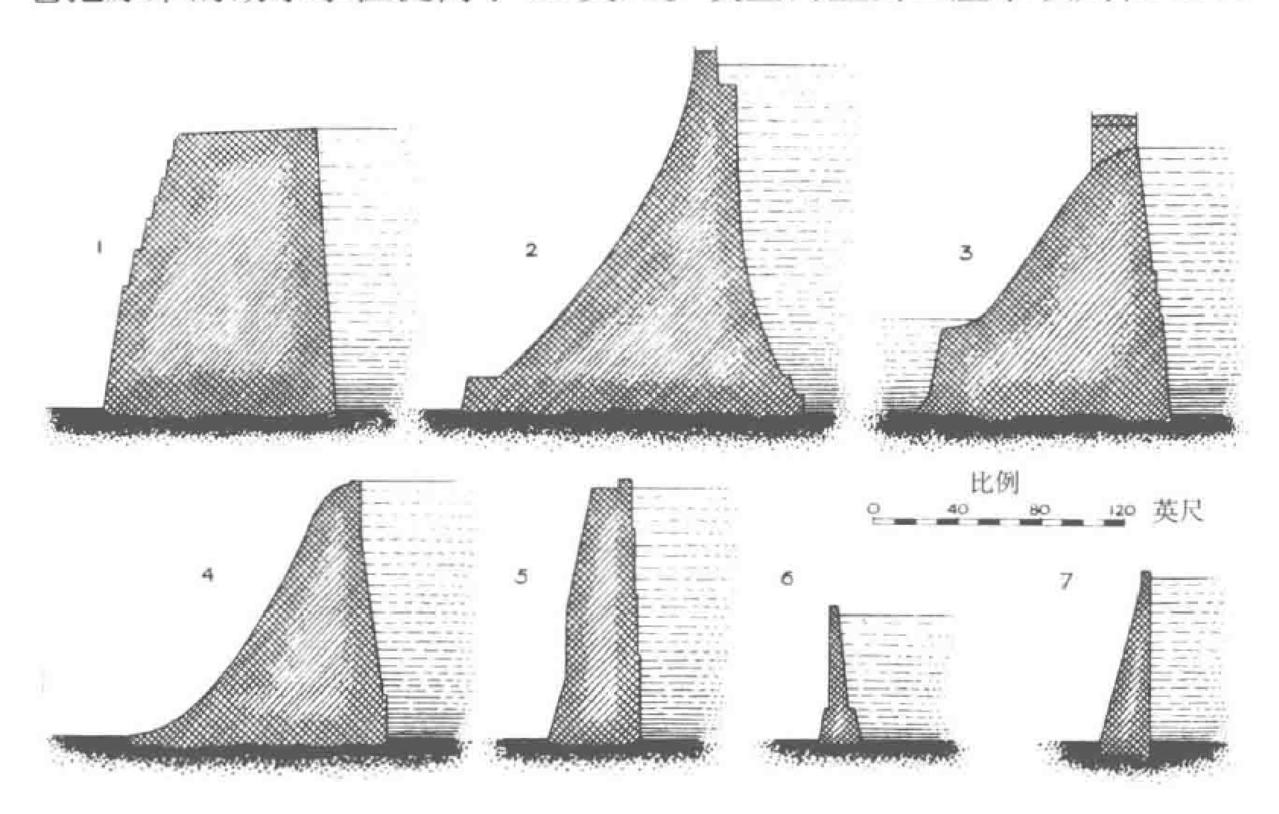


图295 某些著名的石坝和混凝土坝的轮廓线及其完工日期。（1）西班牙的阿利坎特大坝，1594年；（2）法国的弗伦斯水坝，1866年；（3）威尔士的韦尔努伊水坝，1891年；（4）威尔士的卡班科水坝，1904年；（5）法国的佐拉水坝，1843年；（6）美国的熊谷水坝，1884年；（7）澳大利亚的利思戈2号水坝，1906年。

年至 1904 年间为伯明翰而建造（边码 553），其中的卡班科水坝如图 295 所示，它是和维伦韦水坝一样的溢流型，但具有更节省材料的轮廓线[11]。

在两侧山坡坚固得足以承受外向推力的狭窄陡峭的山谷里，可通过建造具有拱作用的弧形坝来节省材料。为了向普罗旺斯地区艾克斯供水而在 1843 年建造的佐拉水坝（图 295），在许多年内曾是唯一依靠拱的强度维持稳定的水坝，迎水面有平面半径为 158 英尺的弯曲[9]。1884 年在加利福尼亚建造的用于灌溉的熊谷水坝（图 295）虽然很低，但是格外细长，平面半径为 335 英尺。1911 年，它被一座结构更坚固的水坝所取代[9]。19 世纪末期，在加利福尼亚还修建了好几座拱形水坝。采用这种结构的另一个地区是澳大利亚，其最高的拱形水坝之一是利思戈 2 号水坝（图 295），蓄水深度为 78 英尺，平面半径为 100 英尺[12]。

在山区修建大型水库需要花费大量的资金，因此各工程项目必须设计得非常经济，以便在降雨量不定的情况下也能保证每天有可靠的供水。19 世纪 60 年代，格莱舍（James Glaisher，1809—1903）和西蒙斯（G. J. Symons，1838—1900）已能通过所收集的降雨量记录预测可能的变化范围。1868 年，霍克斯利提出一个计算标准，能计算出在连续三个旱年里确保不中断供水的水库储存量。这个计算基于这样的观察结果——在任何连续的三年内，最低的平均降雨量“差不多准确地”等于长期平均降雨量的 5/6。1892 年，宾尼（Alexander Binnie，1839—1917）根据自己多年的经验，对这个计算规则进行了修改，把 5/6 降低为 4/5。自此，在仅有降雨量记录的情况下，这个经过修改的计算标准一直广泛地用在估算中[13]。1883 年，维也纳的里佩尔（W. Rippl）提出了他在获得几年以上的河溪流量记录的前提下计算水库储存容量的方法[14]。

23.4 输水道与配水

当时从集水区向城市引水的主要输水道，都是尽可能按水力梯度建造的具有自由水面的“明”渠。它们或者用随挖随填法建造，或者用隧道掘进法建造，一般用砌石、砖或混凝土作衬里。为了从克罗顿流域每天向纽约再多输送3.02亿加仑的水，人们在1885年至1893年期间修建了新克罗顿输水道，长达33英里，大部分是隧道，横截面呈马蹄形，高度和宽度均约为13英尺6英寸，用厚度约为24英寸的砖体作衬里[5]。欧洲的输水道都没有达到这样的尺寸。向曼彻斯特引水的蒂尔梅尔输水道全长为96英里，其中包括14英里的隧道和37英里的随挖随填式水道。管道截面是矩形外加拱形的内顶面，大约7英尺高、7英尺宽，用混凝土作衬里[15]。

559

在输水道必须穿过河谷的地方，没有必要像从前那样顺着水力梯度修建高架渠，铸铁管、熟铁管或钢管都能承受按地形走向铺设时所产生的高压力（参见第Ⅱ卷，边码668—669）。那时的铸铁管用垂直铸造法铸造，较之早期的倾斜铸造法能得到更大的强度、更好的均匀性和更高的精确度。接头一般都用窝接法连接，用铅堵缝，使用凸缘来连接阀门和其他连接件，此外还设计出灵活性好的球窝接合关节。管道用史密斯（Angus Smith，1818—1886）发明的煤焦油防蚀剂来防锈，这种防蚀剂1860年在利物浦首次被采用。

早在1825年，人们就采用将长条热金属抻拉成环状模具的方法来制造熟铁管，较粗的管道是将熟铁板铆接在一起制成的。向内华达州淘金热城市弗吉尼亚市供水的就是这种管道（1873年），直径为11.5英寸，所受到的最大压强几乎达到每平方英寸800磅。据称，这是当时世界上管道所能承受的最高压强[16]。

随着1855年贝塞麦炼钢法以及1861年平炉炼钢法（边码53—60）的问世，钢逐渐取代了熟铁，大约在1860年，第一条用钢制造的供水总管在美国铺设。在随后的年代里，美国逐渐用钢管来代替铁

管，其中有些钢管已经持续使用了 90 多年（图版 33A）。但是，欧洲人不大喜欢使用钢管，主要是因为钢管比铸铁管更容易锈蚀。早期的钢管是铆接的，但在 1887 年发明了焊接钢管。在美国某些木材丰富的地区，人们认为和把铁管或钢管从几百英里外运送到当地相比，用木材制造渡槽和水管更为经济。

560 绝大部分城镇内的配水管道使用铸铁管。配水地区的扩大和间歇供水转变为持续供水，使水的浪费问题变得更加突出。造成浪费的原因包括水管和配件的质量低劣，抽水马桶冲洗设备的使用不当，以及如国会委员会于 1867 年所说的“一些不法分子盗走了所有的黄铜和铜制配件”。配件质量的改善和管道加工水准的提高，对解决这些难题起了很大作用。为了检查是否有浪费水和使用不当的情况，供水公司有权进入用户家进行检查。用户逐渐适应了常年有水的规律，并养成节约用水的习惯。此时，人们已不用因生怕错过供水时段而一直把水龙头开着。

为了便于检测和防止浪费，迪肯在 1873 年发明了一种流量计（边码 536—537，图 291），可以安装在配水系统的关键处[17]。流量计在早晨前几个小时内的读数，能够显示管路内的水是否由于渗漏、浪费或其他原因而有不正常的流出。通过关闭阀门轮流停止向城市的不同地区供水，便能够查出出现故障的管路或违章用水的用户。另一项具有经济价值的发明是阿波尔德（J. G. Appold）的刮管器。利用水压使刮管器穿过管道，便可消除影响管道通水能力的锈蚀物和水垢。1866 年，这种刮管器在托基首次得到了使用。

文丘里流量计（边码 537，图 292）是赫歇尔（Clemens Herchel）于 1887 年在美国发明的，它能够在水头损失很小的情况下精确地测量管子里的水流量，大大地简化了自来水工程师在水处理和配水方面的作业流程。

单凭地理位置而不用借助泵便能得到水供应的城镇极为罕见，

因此泵机械的发展成为促进配水系统迅速扩大的重要因素。直到19世纪末期，由蒸汽驱动的往复式柱塞泵或活塞泵仍然是标准的泵设备，但此时蒸汽机的功率、控制装置和灵活性都有了很大的改进（第6章）。各自独立进行研究的阿波尔德和格温（John Gwynne）均在1849年指出，离心泵是提高水位的一种切实可用的装置，但只有等到高速发动机——例如蒸汽涡轮机和电动机——有了发展，它才能有效地用在供水工程上。因此，直到20世纪初，它也没有得到多少应用。虽然燃气发动机和柴油机在1900年之前就有了相当程度的发展（第8章），但它们直到1900年以后才广泛地用在供水工程实践上。

23.5 水质

561

1850年以前，还没有人对公众饮用水的质量进行过仔细而系统的研究。由于排放的污水和其他废弃物数量的持续增长，人们单凭视觉和嗅觉就能知道从泰晤士河和其他河流中抽上来的水的水质已经日趋恶化。为此，切尔森自来水公司的工程师辛普森（James Simpson，1799—1869）在1829年建造了沙滤池，目的是除掉水里的可见污物。但是，人们后来发现沙滤池的好处远不止于此。斯诺（John Snow）在1849—1853年的霍乱流行期间指出，伦敦凡饮用沙滤水或从泰晤士河无潮汐河段汲取饮水的地区，因患霍乱死亡的人数仅是饮用未经过滤的水或从有潮汐河段汲取饮水的地区的死亡人数的零头。1854年，他对索霍区蔓延的霍乱病进行调查后发现，数百名霍乱患者几乎人人饮用了从宽街泵站泵出来的水，从而证实了他的霍乱的“毒”是通过被人的排泄物污染的水传染给人的论点。不过，对这种“毒”的鉴别则是后来的事[18]。

斯诺关于霍乱病是由水传染的理论以及后来的巴德（William Budd）关于伤寒也是由水传染的论点，虽然只是慢慢被人们接受，但寻找纯净水源的重要性以及对水进行过滤的益处得到1852年颁布的

《大都会水务法》的认同。这一法案规定，凡从泰晤士河或其支流抽水的伦敦所有的自来水公司，必须把它们的进水口移到比较干净的无潮汐河段，并且所有供应家庭的用水都必须进行过滤。

到19世纪70年代，对水中许多杂质的化学检验已经标准化了，能够很方便地测定无机盐的浓度，人们也认识到水中的有机质含量是很重要的卫生指标。不过，对于把具有潜在危险的人体污染同危害相对较小的动物源或植物源有机质区分开来的问题，当时还没有一种能够做到的化学方法。

从19世纪60年代起，由巴斯德(Louis Pasteur，1822—1895)、科赫(Robert Koch，1843—1910)和其他科学家创建的细菌学这一新学科提供了解决这个问题的方法。早在200年前就有人意识到包括细菌在内的微生物的客观存在，但直到发明了在实验室内用特殊的培养基培养细菌的方法，人们才对某些致病菌的作用有了深入了解。这种培养细菌的方法一经建立，各种各样的发现纷至沓来。1880年，埃贝特(K. J. Eberth，1835—1926)分离出伤寒杆菌。4年后，加夫基(Gaffky)证明伤寒杆菌是伤寒的唯一致病菌。1883年，科赫又发现了霍乱弧菌。细菌学家已能追踪各种致病菌在人类中的传染途径，斯诺和巴德的经验发现无疑得到了证实。

1885年，弗兰克兰(Percy Frankland，1858—1946)开始对伦敦各供水公司的供水进行常规的细菌学分析。他利用明胶平板做培养基，证明了有效的沙滤可使水中细菌的含量减少98%，还发现了细菌学分析结果与各供水公司的过滤池作业条件之间的相关性[19]。

分离和鉴别诸如伤寒杆菌之类可能存在于污染水中的致病菌的流程费时又费力，因而不适用于常规检查。用较简便的检测方法可鉴别出人体消化道中普通的无害细菌，如果在供水中发现了这样的细菌，就表明发生了人体污染，因而水中有可能存在着病原体。这种检验方法比同时代的化学分析方法灵敏得多，一旦为负责公用水质的人所掌

握，便成为防止水传染疾病的宝贵武器。

23.6 水的处理

1829 年，辛普森在切尔西成功地利用人造沙滤池来处理泰晤士河水。此后，他又在英国和欧洲大陆建造了大量的按照同一原理设计的沙滤池。沙滤池主要包括防水的砖池或砌石池，置于池内的 2 英尺或 3 英尺厚的沙层，以及位于沙层下面的砾石。砾石下方是一个砖、石或瓦之间构筑有隙缝的地下排水系统，用以收集经过滤的水（图 296）。在过滤期间，水面位于沙层上方几英尺，待过滤的水以大约每小时每平方英尺 3 加仑的速率流过沙层。水中的固体物质主要滞留在沙层表面，并以极慢的速度堆积，同时在水中发生重要的化学变化和生物变化。辛普森观察到过滤池表面呈现“类似于发酵的外观”，但对于实际发生的复杂变化，人们在许多年内都没有弄明白。当沙层上方或沙层内部积累的固体物质对水的通透产生很大的阻力时，就用下述方法来清理滤池——使水平面落到沙层表面以下，人工去除附有污物的最上面一层沙子（图版 32B）。为了减少清理的次数，人们发现让水先通过沉淀池以去除较重的固体是比较经济的做法。

563

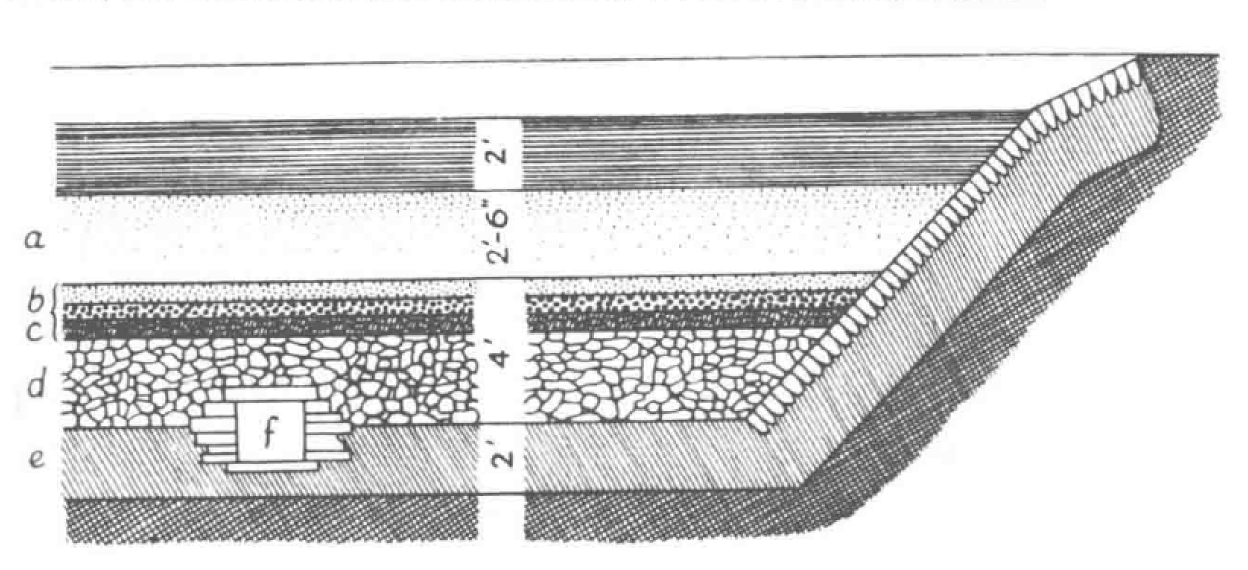


图 296　慢速沙滤池剖面（都柏林）。这是一种典型的结构，但是地下排水系统有多种多样的设计，有的使用砖或石，有的使用多孔的瓦。a，沙子；b，大小不等的砾石；c，碎石（3 英寸）；d，碎石（4—8 英寸）；e，整实黏土；f，干砌石集排水道。

某些滤池还填充了一层木炭，以便除掉水里的颜色，据称还能进一步降低有机物含量。1859年，斯潘塞(Thomas Spencer)描述的滤池含有一层磁性氧化铁，建造在韦克菲尔德、威斯贝奇、绍斯波特和加尔各答[20]。

作为英国式滤池或“慢速沙滤池”而闻名的辛普森沙滤池的占地面积很大(到1903年，伦敦各供水公司的滤池总占地面积几乎达到了150英亩)，而且建造成本和清洗成本都很高。为了设计出过滤更迅速并能进行机械化清洗的滤池，人们付出了许多努力。通常采用的便利方法是把滤池封闭起来，以便使用压力强迫水滤过沙层，冲洗沙层时则让水逆向流动。

1850年之前，法国建造了许多由丰维埃尔(Fonvielle)或其竞争对手索乔(Souchon)设计的压力滤池，法国人认为英国式滤池过于昂贵。另一位法国人达西(H. P. G. Darcy)首先研究了过滤水力学，1856年在关于第戎公共喷泉的著作中公布了他的研究成果。同年，他发明的把许多新颖特点结合起来的滤池取得了专利，但这种滤池似乎并没有取得完全的成功，也许是因为他尝试采用的过滤速度特别快。

在此后的30年里，英国和法国在机械过滤系统方面取得了许多专利。达到实际应用阶段的机械过滤系统大部分都用于工业用水，其追求的目标是纯洁度而不是可饮用性。滤池中还常常使用沙子以外的介质，例如木炭、焦炭和天然海绵等。天然海绵使用起来非常方便，因为在进行反向水流冲洗时可以用活塞使它交替地压缩和回弹。

564

19世纪80年代，人们发明了现代形式的快速沙滤池，最早出现的也许是蒸汽吸水机公司(Pulsometer Engineering Company)在1880年采用的“湍流”滤池(图297)。在这种滤池中，向上冲洗得到了压缩空气(压缩空气从下面的集水道中进入，以便扰动沙粒，并使污物变松)喷嘴的帮助。压缩空气是用蒸汽喷嘴吹入的，但后来被

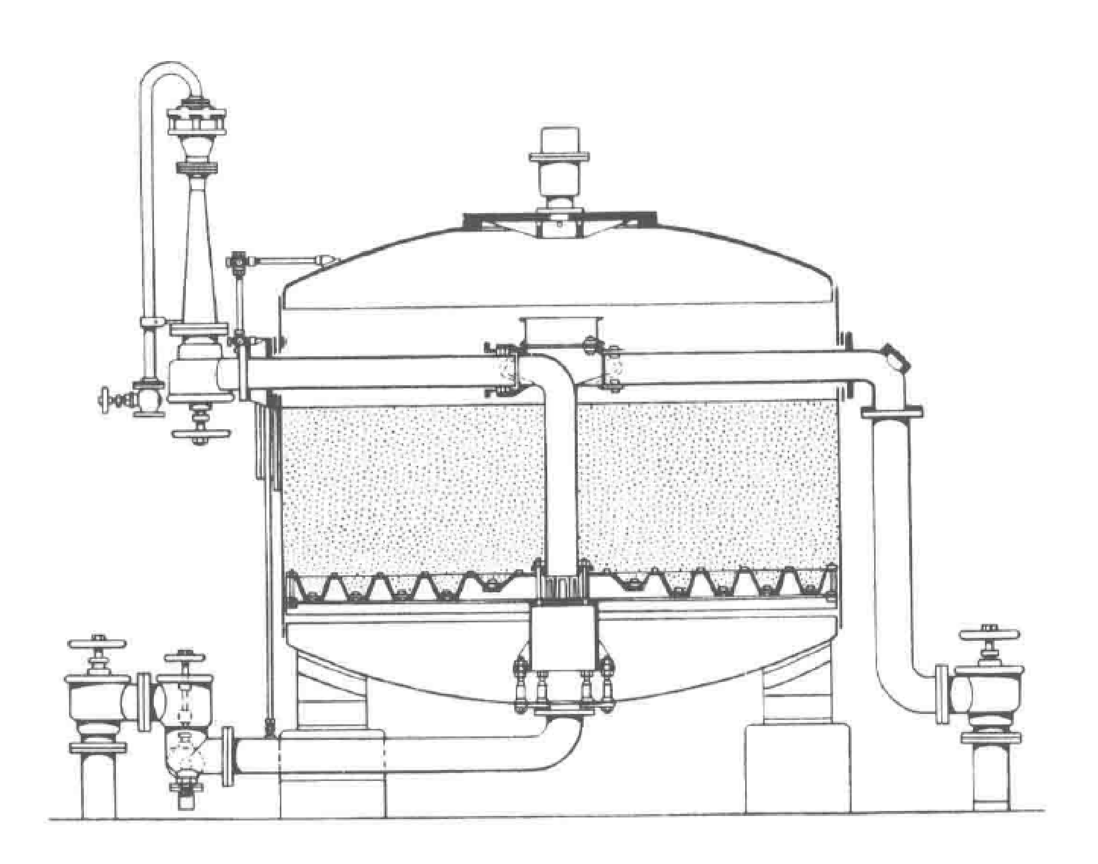


图 297 “湍流”快速沙滤池剖面，于1880年取得专利。滤池用向上流动的水和由蒸汽喷射器（左上方）喷入的空气来清洗。

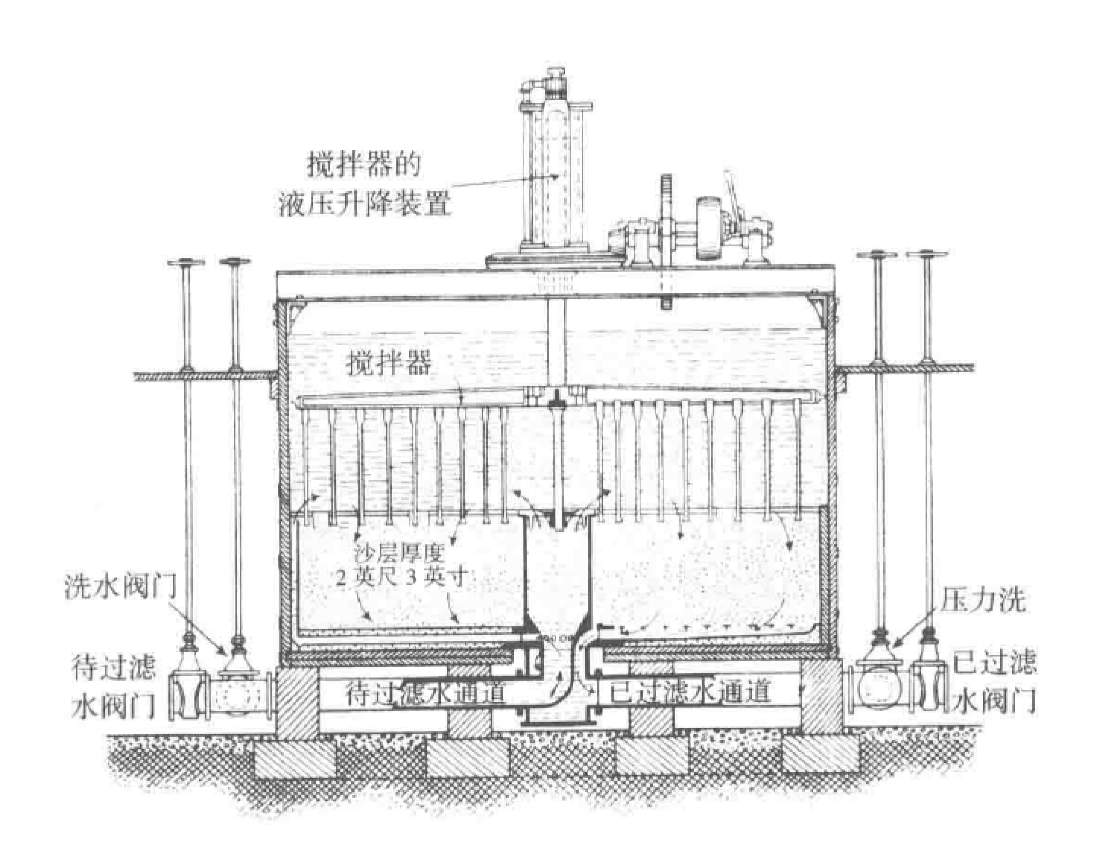


图 298 用于美国的沃伦式快速沙滤池。箭头表示在过滤过程中水流的方向。沙层由向上流动的水冲洗，搅拌器同时降入沙层并转动。

机械鼓风机所代替。这种滤池最初主要用于工业目的，但早在1880年，巴西坎波斯（Campos）的自来水公司就安装了6台这种形式的滤池，1887年又安装了12台，每天处理的总水量达225万加仑，处理的速率为每小时每平方英尺100加仑以上。

在美国，水过滤起步较晚，始于一些部分成功的早期尝试之后。1866年，圣路易斯市派工程师柯克伍德（James P. Kirkwood）赴欧洲学习水过滤技术。1869年，他发表了一份对英国、法国、德国和意大利等国家的城市水处理现状所做的细致而有价值的调查报告[8]。美国成功建造的第一个慢速沙滤池1872年出现在纽约的波基普西，不过，截至1900年，美国只建造了不到20个滤池，加拿大则只建造了5个滤池。由于这种滤池对北美河流泥沙水的适用性不及欧洲被有机物污染的河水，人们把注意力转向机械快速滤池的开发，并从1882年起用于美国的市政供水[20]。美国快速滤池的设计大体上与英国的类似，但是相对英国流行的空气擦洗法，美国人通常更喜欢用机械驱动的搅拌器或高压水喷嘴来协助向上流动的水的冲洗工作（图298）。

565

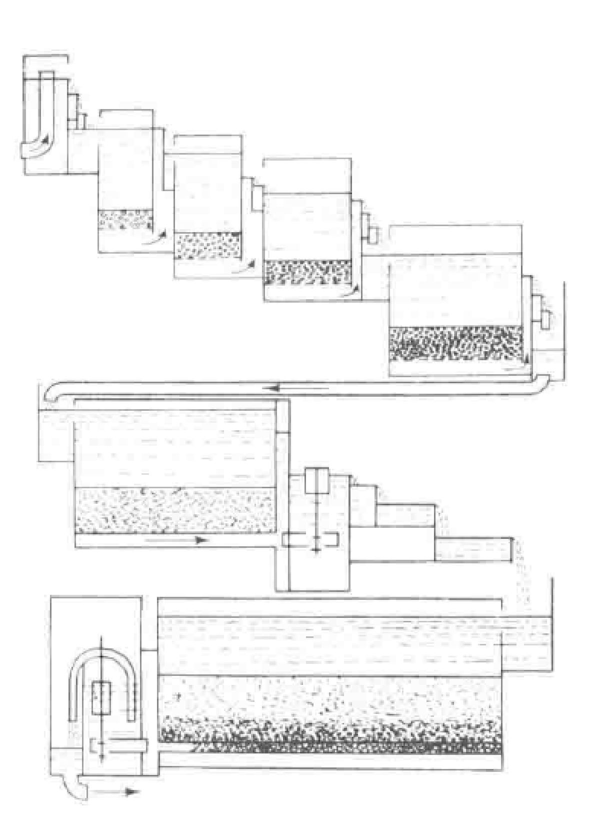


图299 皮埃什－沙巴尔式多层过滤系统，使用好几层颗粒尺寸递减的材料层。

19世纪末期，许多水厂采用了多层过滤。一些水厂把快速滤池当作初始（或“粗”）滤池，用以减少进入慢速滤池的悬浮物的数量，并基于用连续几层颗粒尺寸递减的材料层进行过滤的原则设计出了好几种滤水系统。其中值得一提的是皮埃什－沙巴尔滤池（图299），它于1899年首

次在巴黎投入使用。

在美国很快得到确立的快速沙滤的一个重要的辅助手段就是用硫酸铝进行化学混凝。硫酸铝会形成絮状沉淀物吸附在悬浮的物质上，从而有助于利用沉淀法和过滤法把它们除掉。这样，快速滤池在澄清水方面的有效性就可以与慢速滤池的有效性相媲美了，虽然前者滤水的速率是后者的50倍。在欧洲，人们也知道化学处理的优点，事实上，1843年辛普森就曾试验性地使用过这种方法，1881年在博尔顿也曾大规模地使用过。但是，当时这种方法并没有被看作水处理的固定工序，甚至在美国将其规定为快速滤水的一个不可缺少的处理阶段之后，它在欧洲的进展仍然很缓慢。

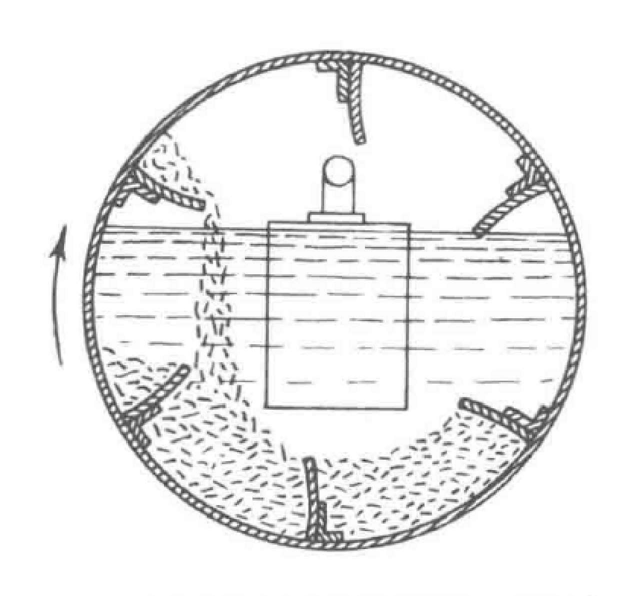


图300　安德森的水净化装置截面图。水通过旋转的圆筒（图中显示为侧面）时，撒入细铁粉作为混凝剂，然后过滤。

另一种化学处理方法是使用铁盐进行沉淀，这种方法在欧洲得到了比较广泛的应用。在梅德洛克（Medlock）1857年所取得的一项专利中，采用了将任意有效形状的铁粉悬于水中24小时至48小时，然后再对水进行过滤的方法。海绵铁是在低温下还原赤铁矿石而制成的，格拉斯哥的比绍夫（Bischoff）在1870年取得了一项使用海绵铁的专利。海绵铁与沙和砾石配合起来，可用作过滤材料，但1881年在安特卫普建造的海绵铁滤池由于堵塞而发生了故障。1883年，安德森（William Anderson）的专利“旋转式净化装置”（图300）中，铁得到了更有效的使用[21]。在水通过净化装置之后，将空气通入水中以将铁氧化为不溶于水的铁化合物，然后用沉淀法和一般的沙石过滤法把它连同水中的杂质一同除去。这种操作方法

曾在欧洲成功地流行了数年，但长期用作净化水的混凝剂的铁最终被硫酸铝所取代。

1841 年，阿伯丁的克拉克（T. Clark，1801—1867）取得一项添加氧化钙（生石灰）使碳酸钙沉淀的软化水的专利。1854 年，第一个用于市政的硬水软化装置在伦敦的普拉姆斯特德建成。1876 年，波特（J. H. Porter）使用以布作为过滤材料的压滤机来净化经石灰软化的水。1878 年，阿什比（A. Ashby）使用钠盐和钾盐来除掉用石灰处理无法去除的永久硬度。更为根本的方法是德国人甘斯（Gans）在 1906 年发明的离子交换法，作为水硬度主要因素的钙离子和镁离子能够被钠离子或其他“软”离子所取代。

直到 20 世纪头 10 年，人们才开始对水进行消毒处理，以此作为保证用户安全的最后工序。在此之前，使用氯化物除臭并防止或推迟水中有机物腐败已有 100 年的历史。当时是把氯化物放入污水和未净化的原水中，但用其杀灭水中致病微生物的做法直到 1896 年才开始，那年漂白粉的使用制止住了亚得里亚海波拉地区的伤寒蔓延[20]。第二年在梅德斯通地区发生暴发伤寒疫情时，同样也使用了漂白粉。当然，以上都是一些孤立的事件。1902 年，比利时的米德尔凯尔克（Middelkerke）建造了第一座氯化水的永久性装置[20]。在英国，以次氯酸钠溶液形式使用的氯 1905 年在林肯首次用作水的常规处理，该项作业（图版 32A）由休斯敦（Alexander Houston，1865—1933）博士（后为爵士）领导实施，他后来担任了大都会水务局水检验处的第一任处长，成为水处理的先驱。无论在米德尔凯克还是在林肯，氯都是在水过滤之前加进去的。但随着处理工艺的进一步发展，人们采用了后氯化法，即对已过滤的水进行氯化成了通常的做法。

567

氯在用作消毒剂方面的唯一劲敌是臭氧，法国人奥托（M. P. Otto）对臭氧的性质和应用进行了研究。第一套市政臭氧设备 1906 年在尼

斯建造，但只有法国人对这种方法特别感兴趣，因此这种装置在其他国家建造得相当少。

23.7 结论

本章所描述的供水发展史表明，这50年内供水状况发生了根本性的变化。技术的进步使得采集和分配现代城市居民正常、健康生活所必需的大量用水成为可能，新知识领域的拓展最终让人们看到存在于水中的肉眼看不见的危险，并掌握了与这些危险作斗争的方法。1850年，供水还只是一个很不成熟的行业，然而到20世纪初，它已经成为一门科学。

相关文献

[1] Stern, W. M. *J. R. sanit. Inst.*, **74**, 998, 1954.

[2] Cronin, H. F. *Proc. Instn civ. Engrs*, **2**, Pt 1, 14, 1953.

[3] Editorial. *Engineer, Lond.*, **35**, 199, 1873.

[4] Hazen, A. 'The Filtration of Public Water Supplies' (3rd ed). Wiley, New York. 1900.

[5] Wegmann, E. 'The Water Supply of the City of New York, 1658–1895.' New York. 1896.

[6] Blake, N. M. 'Water for the Cities' . Syracuse University Press, New York. 1956.

[7] Dumbleton, J. E. 'Wells and Boreholes for Water Supply' (2nd. ed). Technical Press, London. 1953.

[8] Kirkwood, J. P. 'Report on the Filtration of River Waters for the Supply of Cities, as Practised in Europe.' New York. 1869.

[9] Wegmann, E. 'The Design and Construction of Dams' (7th ed.). Wiley, New York. 1922.

[10] Deacon, G. F. *Min. Proc. Instn civ. Engrs*, **126**, 24, 1896.

[11] Mansergh, E. L. and Mansergh, W. L. *Ibid.*, **190**, 3, 1912.

[12] Wade, L. A. B. *Ibid.*, **178**, 1, 1909.

[13] Binnie, A. R. *Ibid.*, **109**, 89, 1892.

[14] Rippl, W. *Ibid.*, **71**, 270, 1883.

[15] Hill, G. H. *Ibid.*, **126**, 2, 1896.

[16] Painter, C. E. *Civ. Engng, N. Y.*, **26**, 582, 1956.

[17] Deacon, G. F. *Min. Proc. Instn civ. Engrs*, **42**, 129, 1875.

[18] Snow, J. 'Snow on Cholera' . Commonwealth Fund, New York. 1936.

[19] Frankland, P. *Min. Proc. Instn civ, Engrs*, **127**, 83, 1896.

[20] Baker, M. N. 'The Quest for Pure Water.' American Water Works Association, New York. 1949.

[21] Anderson, W. *Min. Proc. Instn civ. Engrs*, **81**, 279, 1885.

参考书目

Baker, M. N. 'The Quest for Pure Water.' American Water Works Association, New York. 1949.

Dickinson, H. W. 'Water Supply of Greater London' (Memorial volume). Newcomen Society, London. 1954.

Frazer, W. M. 'A History of English Public Health, 1834–1939.' Bailliere, Tindall & Cox, London, 1950.

Institution of Water Engineers, 'Manual of British Water Supply Practice' (ed. by A. T. Hobbs and J. E. Hobbs, 2nd ed.). Heffer, Cambridge. 1954.

Metropolitan Water Board. 'London's Water Supply, 1903–1953.' Staples Press, London. 1953.

Robins, F. W. 'The Story of Water Supply.' Oxford University Press, London. 1946.

Snow, J. 'Snow on Cholera: being a Reprint of two Papers by John Snow, M. D., together with a Biographical Memoir.' Commonwealth Fund, New York. 1936.

Walters, R. C. S. 'The Nation's Water Supply.' Nicholson & Watson, London. 1936.

第 7 编

制造业

第24章 纺织工业

第1篇 纺织品

D. A. 法尼（D. A. FARNIE）

24.1 技术创新中的决定因素

技术创新部分地取决于如下技术因素：用于纺纱和织造的各种纺织纤维的适用性；纺织工业进一步专业化所带来的技能的日益进步；那些已实现机械化的工艺流程对未实现机械化的传统工艺造成的压力。经济方面的因素，诸如原材料供应的增长、股份公司兴起带来的充足资金、贸易变动的压力，以及劳动力的相对短缺和劳动者的抗争，对技术创新均产生了激励作用。当亚麻、黄麻、毛粗纺、毛精纺、再生毛工业加速实现机械化的时候，1861—1865年发生的“棉荒”[1]在把手工织布的织工逐出棉纺工业的过程中起了推波助澜的作用。在1873—1896年的“大萧条”年代里，价格和盈利的下降在英国的棉纺业、毛纺业和地毯业制造技术中激起降低成本的创新，并加速了欧洲大陆纺织工业的机械化进程。

24.2 纺纱准备工程

废旧毛料加工利用技术的发展开辟了原材料新的广阔来源。再生毛工业是以1801年发明的“魔机”——或称碾磨机、撕毛机、拉毛机——为基础的，这种机器在原理上类似于毛纺工业中的“威罗机”

1 这主要是由于在美国内战期间，联邦政府采取封锁政策，使得南方（邦联）各州的出口减少。

和棉纺工业中的“打棉机”(19世纪后期被用于废棉加工业)。它由一对带凹槽的喂入罗拉和一个短而粗的高速旋转的鼓形滚筒组成，起初的滚筒上覆盖着一层梳片板，后来则代之以数以千计的曲齿。这种弹毛机可把碎毛块撕成碎毛(再生毛)，这是一种在长度、含脂量、纺织和制毡性能上略逊于新羊毛的纤维质。最迟在1809年，这种碎毛就被纺成纱并织造成一种“软再生毛”产品[1]，它的需求与半岛战争期间军用制服的需求和羊毛原料供给方面所形成的压力有关。由于在制造设备时以曲齿取代了梳片板(1834年)，这种弹毛机就可以撕碎毡合织物(“紧吸片”)并生产出一种“硬再生毛”，其应用比“软再生毛”推广得更快。随着锯齿刺条和锯齿扯松机(1850年)——有更坚硬钢齿的梳毛机——的发明，优质强捻毛纱的回收利用成为可能，从而使废纱、废线成为有用之物，这与碎布机处理废织物有异曲同工之妙。此外，碳化处理过程的发明(1854—1855年)使得人们能够重新利用混合纤维废料，用酸除去植物棉纤维，留下未受损伤的羊毛纤维，由此生产出一种“分离毛”。

570

这些发明为软再生毛和硬再生毛工业奠定了基础，并且使它们在19世纪50年代得以飞速发展。它们的兴起反映了工业中废料利用的增加，这种趋势也反映在棉、丝、羊毛、黄麻和亚麻废料的工业再利用中。在软再生毛工业里，大多数软再生毛料可经撕碎处理再重新制成毛料，那些含氮的废料(灰尘和残渣)则被用来制作农用肥料。约克郡西区杜斯伯里-巴特利-莫利地区的大量毛纺工业由于启用了碎毛加工而致富，同时也使衣物变得更便宜、更暖和、更干净。碎毛或分离毛与已梳理过的新羊毛混合后再混纺得到的毛料，越来越多地掺入几乎所有的粗纺毛(虽不是精纺毛)织物中。到1880年，这种混纺毛的供应量大约占英国毛织工业原料总供应量的40%[2]。它在价格上比棉花更具有竞争力，并平抑了新羊毛的价格，有利于提高纯羊毛制品商的生产利润，使得羊毛工业得以复苏。

在罗奇代尔的皮特里（J. Petrie，1859 年）和比利时韦尔维耶的梅伦（E. Melen，1863 年）改进了机洗方法之后，尤其是在 19 世纪 80 年代，羊毛的机洗方法得以推广。1840 年，利兹的利奇（G. Leach）首先提出通过细喷嘴喷雾对毛浸油的加工法。1850 年以后，这种方法在毛精纺工业得到推广，尽管在某些环节中，有些人还是墨守成规，坚持使用水洗罐。1833 年，黄麻的“软麻”工艺首先在邓迪试验成功，最初由手工操作，后来改为机器操作。这是大麻和羊毛两种原料处理技术的一种改良，用油和水处理使之变得柔和滑润，从而更易于纺织。

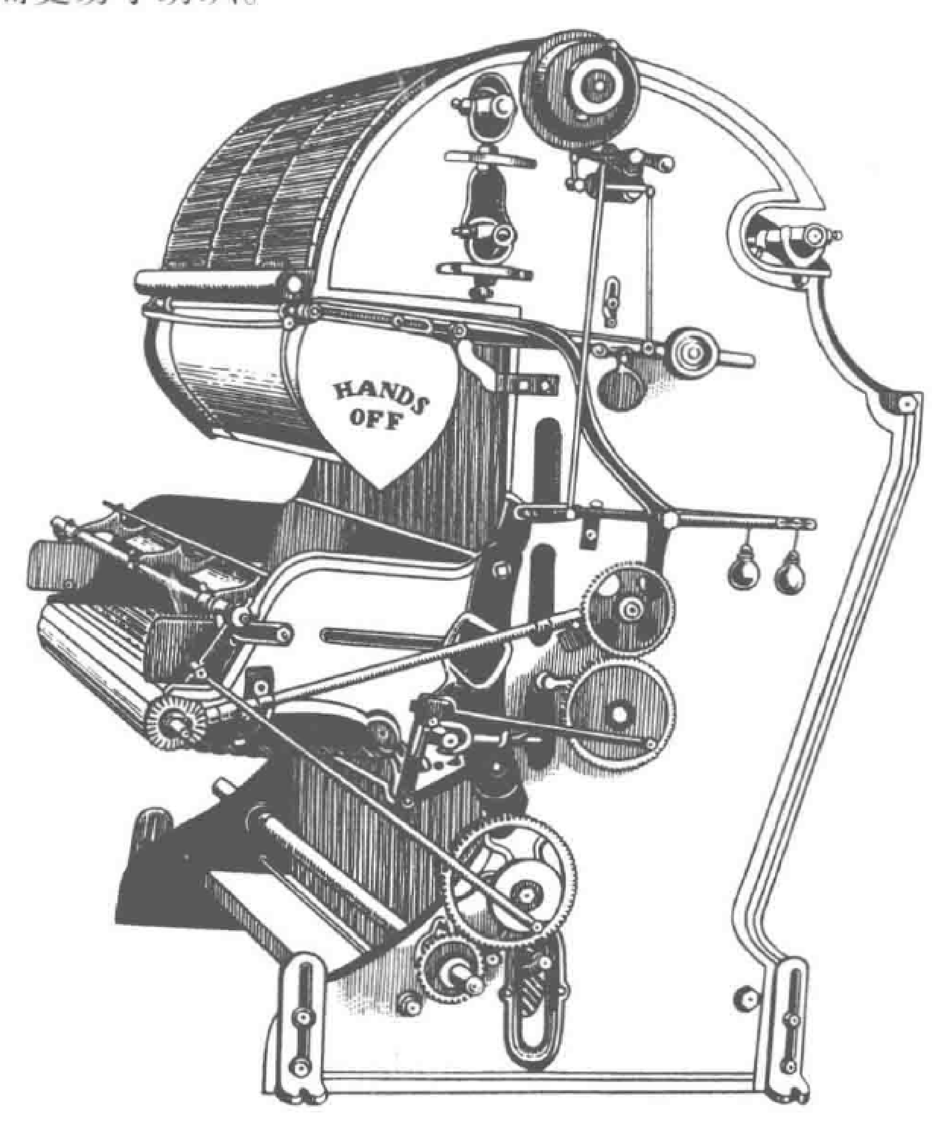


图 301　布拉姆韦尔自动称重喂毛机，1879 年的改进型。标有“请勿动手”（图中“HANDS OFF”）字样的毛斗周期性地自动旋转，将羊毛放置在下方的输送带上，由输送带供料给第一台梳毛机。

571 梳毛机的供料过程实现了自动化。布拉姆韦尔（W. C. Bramwell）的自动称重喂毛机（1876年）（图301）替代了以前在羊毛初加工和供料过程中必不可少的手工操作，先在原发明地美国后在英国被迅速投入使用。除了初始供料过程之外，从19世纪50年代起，各种中间供料过程也得到改进，从而保证羊毛在两台相连的梳毛机之间能够均匀地混合。在英国使用最广泛的喂毛机是布莱密尔和苏格兰喂毛机，在法国和美国则是斯特劳德发明的阿珀利喂毛机（1849年）。

搓条机是装在梳毛机上的附属机器，属于梳毛工艺中的一项基础性发明。1826年，由马萨诸塞州的古尔丁（J. Goulding）加以改进的环形道夫搓条机，将最后一台梳毛机传递过来的毛网切割成30—40个窄带，然后把这些窄带黏结在一起并加以揉搓。最初从19世纪30年代起，这个过程是在两个橡胶包裹的罗拉之间完成的，19世纪70年代起，则是在两个旋转并做横向运动的宽皮带之间完成（图302）。经过搓揉处理的粗纱较之原来的条带更为牢固、结实（强化），被缠绕到长形粗纱轴上后，即被送到走锭机上纺成毛纱。这样，无须并条机处理就能制成毛纱，而且这样纺出的毛纱较之用搓捻毛粗纱机[1]及其附属设备“接头器”或“机枪手”纺出的毛纱更好更快（第Ⅳ卷，第10章）。到19世纪30年代中期，搓条机已在美国得到普遍采用。19世纪50年代，搓条机率先在约克郡露面，并随着短绒再生毛需求的日益增长，在19世纪60年代被迅速推广。到1870年，搓条机已独占鳌头，大量取代了粗纱机，在兰开夏郡被成功地用来处理废棉（1884年）。在欧洲大陆，最广为流行的是带式搓条机，最早由韦尔维耶的马丁（C. Martin）引入（1861年）。这种搓条机通过在皮带和一对带有隆脊的罗拉之间完成撕与切，从而把毛网分割成条，要比那些环形道夫搓条机分得更精细、更适用于生产细毛纱，而且产量也更大。带式搓条机迅速传遍比利时和法国，但传入英格兰和美国的

572

1 在搓捻毛粗纱机中，来自并条机的梳条被拉细并绕在筒管上成为粗纱。

时间要晚得多。

从19世纪30年代起，作为梳片的替代用物，毛精纺梳理机起初仅用来加工细短毛，后来随着精梳机的完善，被用来为精梳工艺做预处理。这种毛精纺梳理机在原理上类似于具有工作辊和剥毛辊的毛粗纺梳理机，但运行起来更为平稳，大大减少了讨厌的纤维断裂。亚麻、黄麻和大麻梳理机也是以工作辊/剥毛辊原理为基础的，加工黄麻短纤维使用的回丝梳麻机，它实质上是头道梳麻机，仿照亚麻短纤维梳麻机制作出来，由于沃拉尔(Worral)用坚硬木材代替皮革做梳麻机针布材料而得到很大的改进(1853年)。

截至1888年，棉花加工业中最受欢迎的是史密斯(J. Smith，1834年)和利(E. Leigh，1858年)的旋转式盖板梳棉机。直到得到曼彻斯特的阿什沃思兄弟(G. Ashworth，E. Ashworth)(1870年，1878年)专业工程技术加工的支持，这种机器才获得了实际上的成功(图303)。在一个中央回转钩林(或"大钩林")上有一个与滚筒同心的一串金属针覆盖的盖板，链条与滚筒同向旋转，但转速较慢。盖

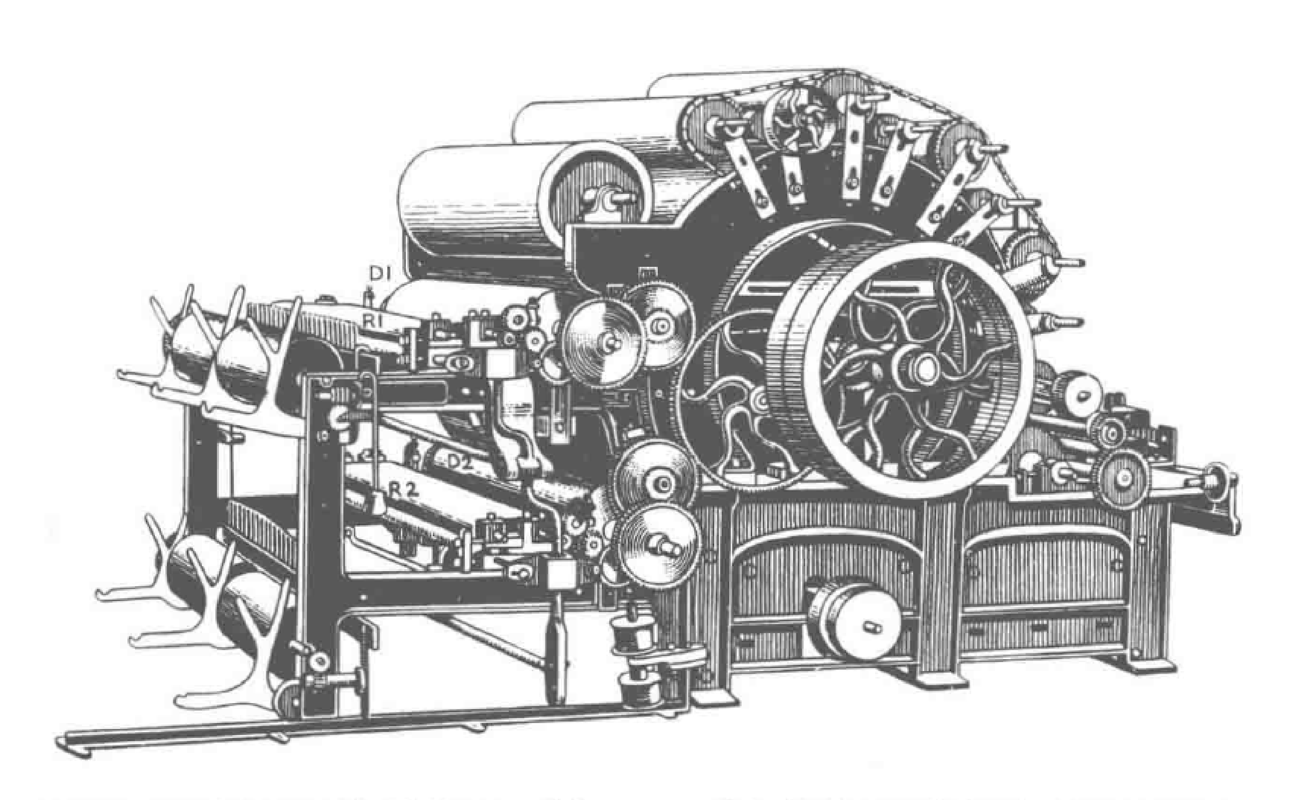


图302　1888年的双环道夫搓条梳毛机。道夫D1和D2将末道粗梳毛送到搓条机搓皮板R1和R2上。

板和大钩林都覆有既有弹性又坚固的用淬火钢和回火钢制成的金属丝针，经过精确调准就能很好地刺向棉花。回转盖板梳棉机大大提高了产品的质量，并使产量提高了近一倍。19 世纪 80 年代，这种梳棉机被稳步地投入使用，不仅取代了有工作辊 / 剥毛辊功能的梳毛机（转向了废棉工业），而且也取代了马萨诸塞州洛厄尔的韦尔曼（G. Wellman）的静止盖板式“自动剥皮”梳理机。罗奇代尔的奇特姆（D. Cheetham）条筒和圈条运动（1857 年）作为粗梳、精梳和并条过程的附属设备，在棉纺和毛纺工业中得到了广泛使用，但直至 1900 年才开始用于亚麻和黄麻工业。

574

精梳过程在 19 世纪 50 年代才得以机械化。海尔曼 – 施伦贝格尔（Heilmann-Schlumberger）精梳机（1845 年）[1] 特别适用于短羊毛和棉花的精梳，因为它能把梳条撕成毛绒束，在精梳之后将其粘在一起。从 1851 年起，它在兰开夏郡和阿尔萨斯地区的精棉纺织工业中得到了迅速推广。这种机器产量低、黏结质量差的缺点，在纳史密斯

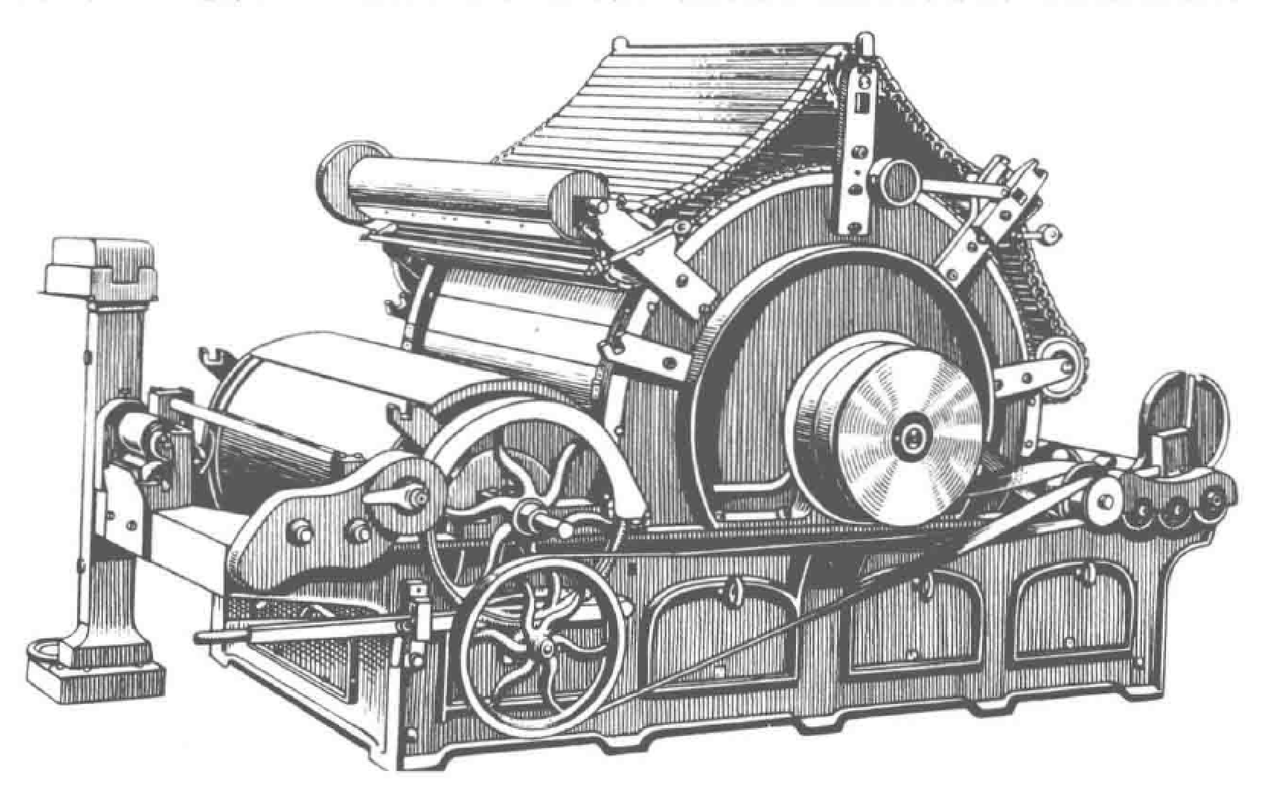


图 303　1887 年的回转盖板梳棉机。棉花在回转连续链的表面和下面的中央滚筒之间得到梳理。

1　在法国，这种机器被称为立式循环精梳机或直型精梳机。

(Nasmith)的棉精梳机中得到改善(1901年)。海尔曼毛精梳机(第Ⅳ卷，边码297)还为贝尔法斯特的亚麻业所采用，而且自19世纪90年代起还专门用于梳理短亚麻。在19世纪期间的毛料产业中，它在欧洲大陆的推广程度远比在英国要广泛。在德国、比利时和法国，尤其是在兰斯的羊毛精梳产业中，它被广泛用于梳理那种非常短的博坦尼羊毛[1]。

19世纪50年代早期，利斯特－多尼索普(Lister-Donisthorpe)钳板式机(1851年)给英格兰地区的精梳羊毛工艺带来了一场革命。这种机器在布拉德福德被迅速投入使用并取代了手工操作的精梳机，而且在约克郡的精梳毛纺工业中占据了统治地位。究其原因，部分是由于"北部最大的垄断者"[3]利斯特(S. C. Lister)在竞争中获得了专利权，从而用他自己的机器压倒了竞争对手(第Ⅳ卷，边码297)。诺布尔－多尼索普精梳机或圆形精梳机(1853年，1856年)(图304)体现出卧式循环精梳机在机械上的完善，它采用了两个旋转着的精梳环，其原理在1827年的普拉特－科利尔(Platt-Collier)专利中首先被提出。最初这种机器中仅有一个小环在另一个较大的齿形环内运行，但约从1862年起[4]，人们就使用了两个小型内环，从而出现了倍式机。两个内环与较大的梳环内圆周上相对的两点接触，并在其中以相同的速度、相同的方向旋转。长纤维在通过预梳箱中的鳃状梳而被拉直后，就通过特制的进给箱从毛球架供料，这种进给箱在1856年投入使用。长纤维在两环的接触点处与两环相遇，并在两环的钉齿之间被压实。然后，当两环旋转和拉开时，两个环上的钉齿相互将对方环上的钉齿上的纤维"顺利而流畅地"拉伸。从梳环内或两内环外伸出来的长纤维被作为"精梳毛条"由垂直引出辊带走，"落毛"最终被保存在两个内环的槽针之间，先由倾斜的钢制"犁"刀再由引出辊予以清除。由于适用性好和生产能力高，诺布尔精梳机从19世纪60年

1　之所以如此命名，是因为这种毛取自新南威尔士博坦尼湾的美利奴绵羊。

代起被引入了美国。19世纪60年代，当利斯特专利权期满后，诺布尔（Noble）精梳机开始在约克郡流行。19世纪80年代，它逐步取代了用来加工短羊毛的钳板式精梳机，使后者仅被用来精梳英国长羊毛和安哥拉山羊毛。

在1846年到1856年间发展起来的霍尔登-利斯特（Holden-Lister）精梳机或四角形运动精梳机（图305），是唯一一种以模仿手工精梳的动作为基础而制造的机器，由梳环、鳃状梳和交叉梳三个梳组合而成。可动臂上的若干对喂入罗拉伸展时，可把梳条传送给梳环，且同时可从梳环的槽针中拉出羊毛，这样就使毛条产生向外突出的须边。设在圆环外侧的工作梳是一些具有一系列精制的锯齿状坠杆的鳃

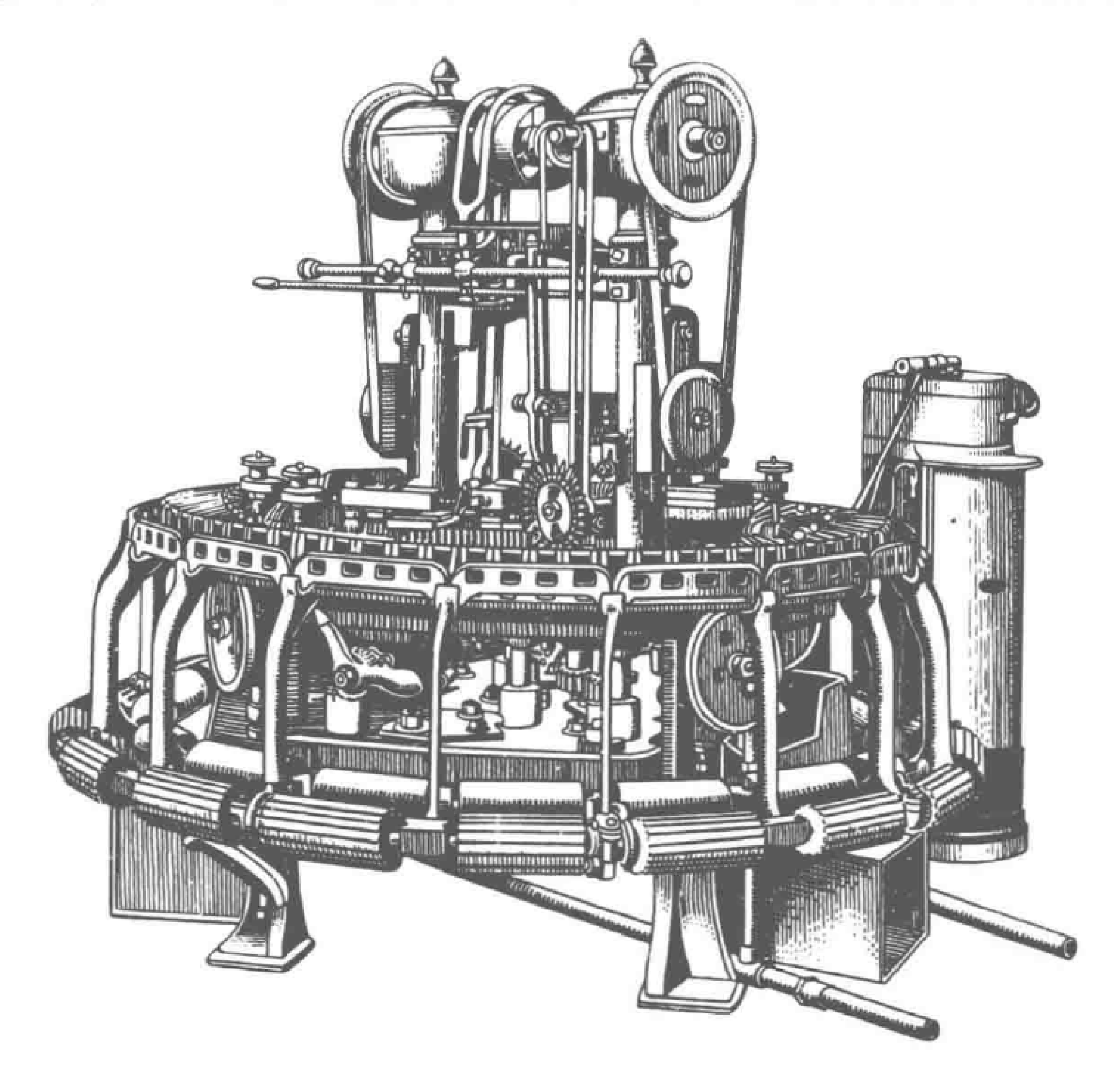


图304　1887年的一台诺布尔精梳机。这种型号成为1900年约克郡梳毛工业中具有代表性的机器。该机在大的环形梳内使用两个较小的旋转梳环。

状梳杆，它们与圆环相切，因此只有一个点离圆环最近。由于使用凸轮作推动机构（1848 年），坠杆呈“四角形运动”，这种精梳机便由此得名。在运行时，坠杆首先通过毛条须边向上接近圆环形梳头，然后快速一推，使之退离开圆环，避免两组齿互锁在一起。纤维经过越来越彻底的梳理之后，坠杆最后垂直落下，离开毛条，并返回原位，等待下一轮动作。为了完成整个梳理过程，人们采用了一种弧形纳克特尔（nacteur）梳（1859 年），这种梳的齿与梳环齿同心，弧形梳由上而下插入梳理过的边穗中，梳理夹在圆环上的钉齿之间的毛条。在法国的精梳毛纺工业中——当时的精梳毛纺工业在鲁贝和图考英一带迅速发展起来，四角形运动精梳机成了具有代表性的机器，而在英国却只被用来梳理美利奴短羊毛。

576

一般而言，精梳机大大降低了成本，而且由于它的存在，在毛纺、精棉和亚麻工业中使用短纤维成为可能。它使毛纱精梳过程实现了机械化，并用女挡车工取代了手工精梳工人。羊毛精梳成了精梳毛纺工业中高度专业化的部分，通常采用委托加工。精梳机与廉价的棉经纱和短毛精纺梳毛机配合使用，给予了精梳毛纺工业新的生命。它同时

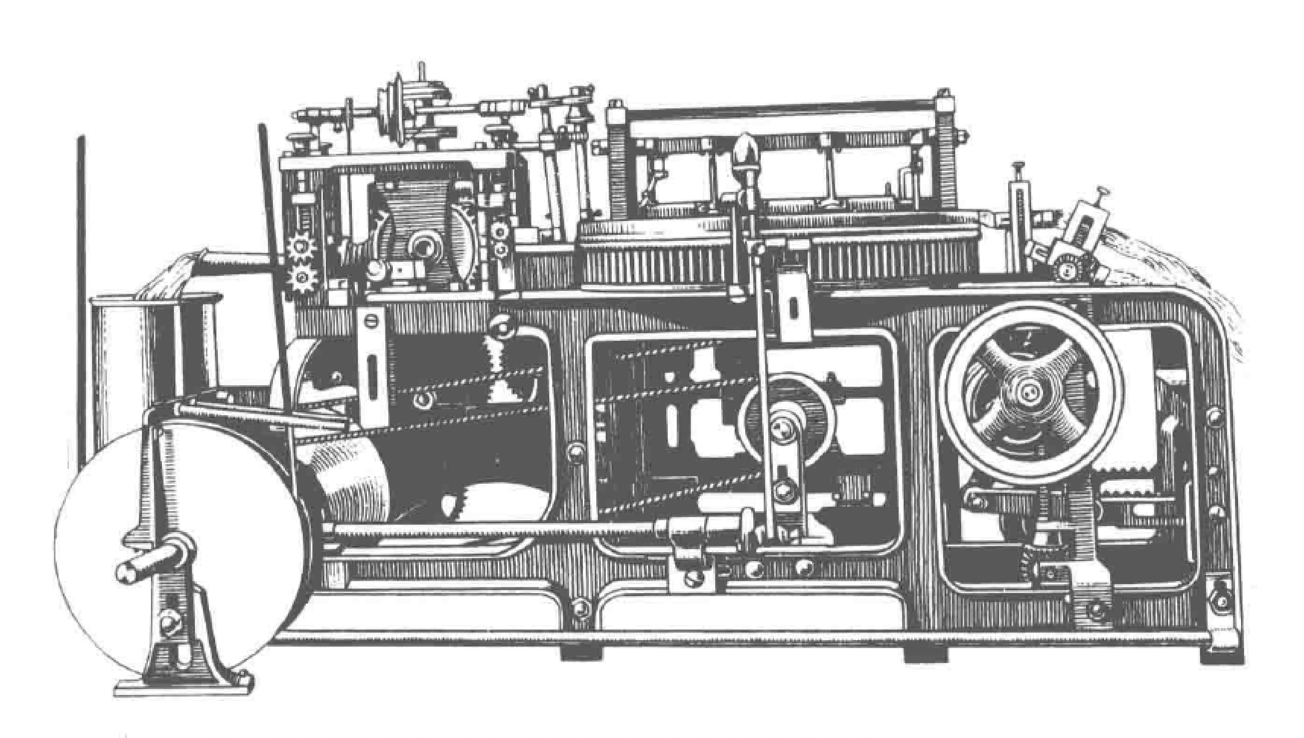


图 305　四角形精梳机用机械模仿了手工梳理毛纤维过程中的运动形式。

复兴了精棉纺织工业，将其与粗支和中支纱纺织过程区分开来，从而奠定了兰开夏郡在当时纺织工业中的优势地位。

在棉花并条过程中，斯莫利（J. Smalley，1875年）的电动自停装置获得了广泛应用。它是利用干燥棉纤维的不导电性，当棉条断裂时机器立即停止运转。在精梳毛纺工业中，法国和比利时从1856年起研制了一种“法兰西并条”系统，把欧洲大陆的毛纺工业和布拉德福德的毛纺工业更完全地区分开来。这种系统使用一种长钉覆盖的圆筒（或“针筒”）来支撑前后两对牵伸罗拉间和摩擦皮带间的棉条，就像毛粗纺搓条机那样使未纺成纱的须条变得坚实。和布拉德福德的开放式并条工艺一样，它也不必使用针板，也没有在纺条过程中插入加捻的动作，特别适宜用来在毛精纺走锭机上生产“干纺”纱线。1850年，约克郡发明了铁炮粗纱机，并于19世纪90年代投入使用，处理比较细的棉纱，消除在开式并条中显然存在的材料意外牵伸。

577

24.3 纺纱

早在1850年以前（第Ⅳ卷，第10章），人们就已研制出间歇式（走锭细纱机）和连续式（翼锭细纱机、帽锭机和环锭机）纺纱机。从19世纪40年代开始，当自动走锭细纱机（1830年）的产量增大以后，它就开始占领棉纺工业的一个又一个领域，1852年被引入阿尔萨斯地区，1860年被引入德国。到19世纪80年代，这种机器的纺纱能力已高达350锭。毛精纺走锭细纱机与棉纱走锭细纱机相似，有两对固定的罗拉用于拉伸条子。在约克郡，它仅被用来加工短羊毛，而长羊毛则用翼锭细纱机或帽锭机来加工。然而，在欧洲大陆，尤其是在法国，这种机器被用来加工所有的毛纱，并且事实上把其他机器均逐出了纺纱工业。它使用在“法兰西并条”工艺之后，几乎不加捻回就把毛条纺成毛纱，从而消除了翼锭式、帽锭式或环锭式细纱机所产生的不可避免的意外牵伸。毛粗纺走锭细纱机与哈格里夫斯的珍妮机及

加工废棉的搓条走锭细纱机一样，没有采用罗拉牵伸，而是采用锭子牵伸同时加捻。虽然手工走锭细纱仍然存在（例如在兰开夏郡，20世纪的头十年内还在使用），但在1850年至1870年之间，自动毛粗纺走锭细纱机（1832年）在约克郡已得到普遍使用。1867年，这种机器在法国的大企业中广泛推开，但直至19世纪70年代才在美国投入使用。

在连续纺纱方面，翼锭细纱机逐渐让位给它的两个后代——帽锭机和环锭机。19世纪50年代，帽锭纺纱机或丹福斯（Danforth）翼锭细纱机（1829年）被广泛地引入布拉德福德地区，并随澳大利亚羊毛在毛纺工业中使用量的增长而得到了改进。同时，为了纺织博坦尼羊毛，这种机器至1859年已大量地取代了低速的翼锭细纱机（边码574）。环锭纺纱机在美国的发明（1828年）标志着“纺纱工业迈出的最后一大步”[5]，正如精梳机在纺纱的准备过程中所起的作用，这种机器在20世纪全球的纺纱工业中占据了统治地位。它基于一个装在固定圆环中心的旋转着的锭子，固定圆环上则套着一个很轻的C型夹或用来代替沉重的锭翼的“钢丝圈”。纱线在通往筒管的途中经过钢丝圈，由此拉动其围绕圆环（即钢领）旋转产生加捻作用，当圆环和“钢领板”在做上下往复的垂直运动时，就使纱线在筒管上缠绕，形成管纱。从19世纪70年代起，环锭细纱机在英国传播开来，起初被用来加捻或合股棉纱，后来则被用来纺棉纱。由于速度快、产量高，特别是在阿克灵顿的霍华德（Howard）和布洛（Bullough）引入了改进的“拉贝斯”（Rabbeth）式或自容式锭子（1878年）之后，这种机器就大大超越了翼锭细纱机。由于环锭细纱机（图306）能够连续卷绕和纺纱，而且只需要简单劳动，从19世纪80年代起，它就成了走锭细纱机的竞争对手。不过，走锭细纱机在兰开夏郡还保持着统治地位。因为这种机器在裸锭上纺纱，加捻程度轻，生产的纱适合作细纬纱，而环锭细纱机的纱线是在筒管上纺成的，

578

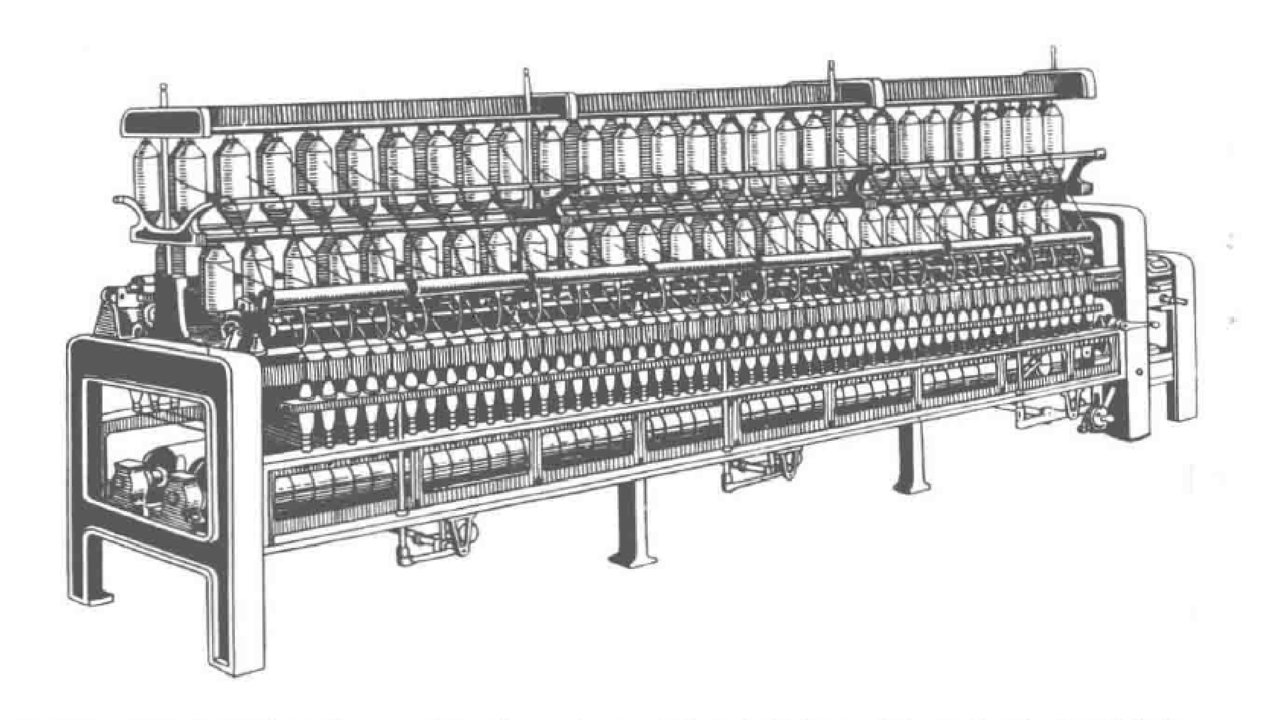


图 306　1888 年的环锭细纱机。环锭细纱机以高速、连续生产为特征，成为 20 世纪纺纱机的代表。

加捻程度较高，更适合做经纱。截至 19 世纪 80 年代，英国和欧洲大陆的精梳毛纺产业已开始将环绽细纱机用于细纱毛纱的纺和加捻。在粗梳毛纺产业中，虽然这种机器到 1898 年时还未被用于细纱，但已广泛地应用于毛纱的加捻。在缫丝工业中，环锭捻丝机的原理与环锭细纱机相同。

579

托珀姆(C. F. Topham)"离心罐"(1900 年)采用离心方法为新生的黏胶丝工业提供了连续长丝"饼"。韦尔德(W. Weild, 1860 年)的自动络纱机使缝纫机线工业中的线轴绕制过程实现了机械化，从而取代了手工络纱工和手动络纱机。

24.4　交织

在交织的准备过程中，史密斯(R. H. Smith)的双股机(1863 年)和来自美国的利森(Leeson)精密卷纬机对改进纬纱卷绕工艺起了重要作用。在整经方面，辛格尔顿(T. Singleton)改进了整经机(1872 年, 1878 年)，可在运行中发生断头时自动停机，因而几乎使整个工艺过程完全实现机械化，并被广泛地用于平纹白布和亚麻布的整

经。浆纱工艺由于斯莱西（Slasher）浆纱机（1853年）和浆料自动调合机（1856年）的发明而受益，浆纱机在处理供普通织布机使用的经纱方面得到了广泛的应用，并且取代了带式上浆机，且在20世纪同样适用于处理供自动织布机使用的经纱。但是，和交织过程本身相比，经纱处理工艺的进展就显得过慢了。迟至1882年和1891年，第一种用来把经线通过综眼以及通过织机的铅齿进行穿经的机器才分别由舍曼（Sherman）和英格索尔（Ingersoll）在美国获得专利。

就交织工艺而言，埃克尔斯（Eccles，1853年）、诺尔斯（Knowles，1853年）、怀特史密斯（Whitesmith，1857年）、肖斯（Wright Shaws，1868年）的梭箱运动，以及哈特斯利（R. L. Hattersley）和希尔（J. Hill）的圆形跳梭箱运动（1869年）的出现，使得用于多色纬纱加工的梭箱运动的范围逐步得到扩展。在众多应用由“多臂机”（第Ⅳ卷，边码303）（或小型提花机）的运动演化而来的开口运动的织布机中，有制造镶边印度缠腰布的复式［或布莱克本（Blackburn）式］多臂机（1858年）、诺尔斯（Knowles）积极式多臂机（1874年）、标准型积极式多臂机、用于生产精细织物的凯利（Keighley）式（或摆杆式）多臂机（1866—1867年）、兰开夏郡和约克郡多臂机（1885年）、伯恩利（Burnley）多臂机（1888—1893年）以及交错式多臂机（1898年）。多臂机也是美国人的两项重要发明的基础，它们分别是织造花式棉布的克朗普顿（William Crompton）“花式织布机”（1839—1840年）和克朗普顿（George Crompton）“阔幅花式织布机”（1857年）。对于经纱开口工序来说，最重大的发明是提花机械（第Ⅳ卷，边码316—319）。随着复动式提花机、双花筒提花机以及能生产各式花式布的提花机的出现，提花机械的生产能力得到了提高。巴洛（A. Barlow）的这种复动式提花机（1849年）能使经纱连续提升两次以上，不但提高了织布机的速度，而且减小了提花机各个相对超速的运转部件的速度。双花筒提花机（1865年）装有两组横针，每组横针带有一个单独的绞版筒和

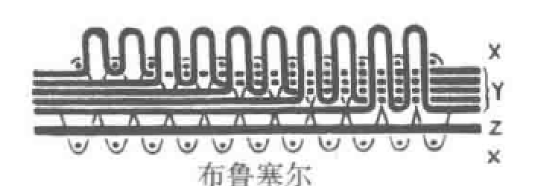
580

一组绞版，能以更高的速度运行。

1840 年以前，约克郡的毛粗纺工业还很少使用动力织布机。但是到了 1850 年，动力织布机在棉纺织和毛纺织工业中已有了巨大改进，这在很大程度上要归因于诺尔斯织布机（1863 年），即全开口式织布机的发明。这种织布机能够松弛不必拉紧的经纱，让这些经纱停留在梭口的最高或最低位置，以备必要时再拉紧，特别适于织粗纺毛织品。有基于此，出现在美国的诺尔斯织布机传入英国并被改装成通用动力粗纺毛织机。在亚麻纺织业中，手工织布机诞生在 19 世纪 60 年代的繁荣时期，它与动力织布机相比显得更为沉重和坚固。由于经纱使用了特殊的浆料并在织布机上装设了振动罗拉，亚麻纱缺乏弹性的缺点有所改善，经纱也能保持均匀的张力。普通的动力黄麻织布机，即类似于兰开夏郡织布机的锥形上投梭织布机——是亚麻工业中使用的重型帆布织机轻型化的翻版，它自 1848 年起在织造黄麻布时就不需浆纱，而且因为织物纤维质地粗糙，也很少使用纬纱叉制动。表面带有绒圈的土耳其毛巾是在 1851 年至 1852 年织成的，起初使用手工，尔后使用了动力织机。双层丝绒织机在 1878 年问世，这种机器织出两片面对面的起绒布，然后用游动刀片在它们之间横向切出绒面。

在 19 世纪 50 年代英国的精梳毛纺织工业、19 世纪 70 年代兰开夏郡的棉纺工业、19 世纪 90 年代约克郡的粗梳毛纺工业以及爱尔兰的亚麻工业中，动力织机在与手工织机的竞争中所向披靡，一次又一次取得了胜利。在欧洲大陆，机械化的实现要晚一代人的时间。到 1900 年，已成古董的手工织机仅限于在山区、林区或沿海（诸如英国的“凯尔特边陲”）偏僻之地使用，或用来织造精致而又昂贵的短匹织物，或出于试验目的被最好的织物设计师和试样织工当作必不可少的试验工具。有时候，它仍作为技术学校的教具以及监狱中犯人的劳动工具。

双层生染



布鲁塞尔



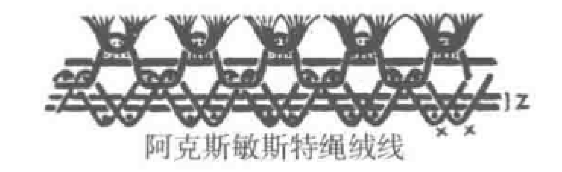
威尔顿



织锦布鲁塞尔



织锦丝绒



阿克斯敏斯特绳绒线



帝国阿克斯敏斯特

图 307　各种地毯织纹。这些截面（除生染地毯外）均为横切纬线，显示出所列地毯的经纬结构。X—链经或地经；Y—绒经；Z—衬垫经。

地毯交织是纺织工业中工艺最复杂的一个分支（图 307），实现机械化也最晚。第一条机织地毯是生染毛线地毯（或称多层地毯）[1]。这种地毯由两组或多组精梳毛纱经线和两组或多组粗梳毛纱纬线织成，经线和纬线按照图案设计从不同的梭子拉出并带到表面，因此在地毯背面呈现出与表面图案相同但颜色相反的花纹。在基德明斯特，早在 1735 年就已在手工提花织机上织造出了双层生染地毯（或双层地毯）。1824 年，在基尔马诺克制成了三层苏格兰地毯（或三层地毯），当时使用花筒机织出了图案，而到 19 世纪 40 年代，这种花筒机就被提花机取代了。“织锦生染花毯”是由一种杂色线织成的双层地毯，外观上类似于造价较昂贵的三层地毯，而且比后者更受消费者的欢迎。1841 年，这种地毯首先在英格兰获得专利。特别是由于纽约人史密斯（A. Smith）的工作（1850 年），它在美国得到了进一步

581

1　又名基德明斯特双面提花地毯、苏格兰地毯、荷兰地毯或混织地毯；其中无缝的方形毯也叫“艺术”地毯。20 世纪 30 年代，这种地毯在英国停止生产。

的完善。

生染地毯表面平坦，并不是布鲁塞尔地毯（或布鲁塞尔实体地毯，以区别于织锦布鲁塞尔地毯）。布鲁塞尔地毯的绒面由未剪切的绒圈构成，具有高弹性的特点。它由三组不同经纱组成，链经与纬纱一同构成地组织，衬垫经形成“实体”，而数目可达5—6根的毛精纺起绒经则在织机后从经轴架拉出，并贯穿织物全长。1825年，提花机械在基德明斯特首次被用来织造这种地毯。织造时，通过选择合适的露在表面上的经纱而构成图案，其他绒经则全被隐埋在地毯的实体中。

582

用比奇洛（Bigelow）和科利尔（Collier）动力提花机来机织布鲁塞尔地毯或与其齐名的威尔顿地毯，这是一场伟大的革命。布鲁塞尔动力织机（图308）由马萨诸塞州的比奇洛发明（1846—1848年），1851年引入英格兰后，又由哈利法克斯的科利尔加以改进。科利尔成功地把动力织机应用到亚麻纺织业中，又用“金属丝”与纬纱一起穿入双梭口中形成有特色的环状绒圈，这一工艺在1852年获得专利。起绒“金属丝”是一种金属细条，很像最初尾端呈环状的烤肉叉。机器运行时，先相继插入这些金属丝，然后自动沿纵向逐条抽去，在此过程中形成许多绒圈。在织造威尔顿地毯和图尔耐地毯时，使用的金属丝略细一些，因为织物每英寸有更多行绒圈，并且金属线尾端装上刀片，用以在每根金属丝抽去时把毛精纺绒圈割断，从而形成松厚、柔软的表面。在英格兰，到19世纪50年代和60年代，用来织造布鲁塞尔和威尔顿地毯的动力织机就取代了手工织机，这一点远远领先于欧洲大陆。

布鲁塞尔地毯最多只能使用六种颜色的绒线，而且所用的染色毛精纺绒经是一种昂贵的奢侈品，所以生产受到了一定的限制。但随着廉价的染色经纱地毯即织锦布鲁塞尔地毯或印花布鲁塞尔地毯（图

583

309）——在鼓轮上用颜色压印成的配色纱织成——的出现，这两种不利因素都得以消除。鼓轮压印工艺由爱丁堡的惠托克（R. Whytock）

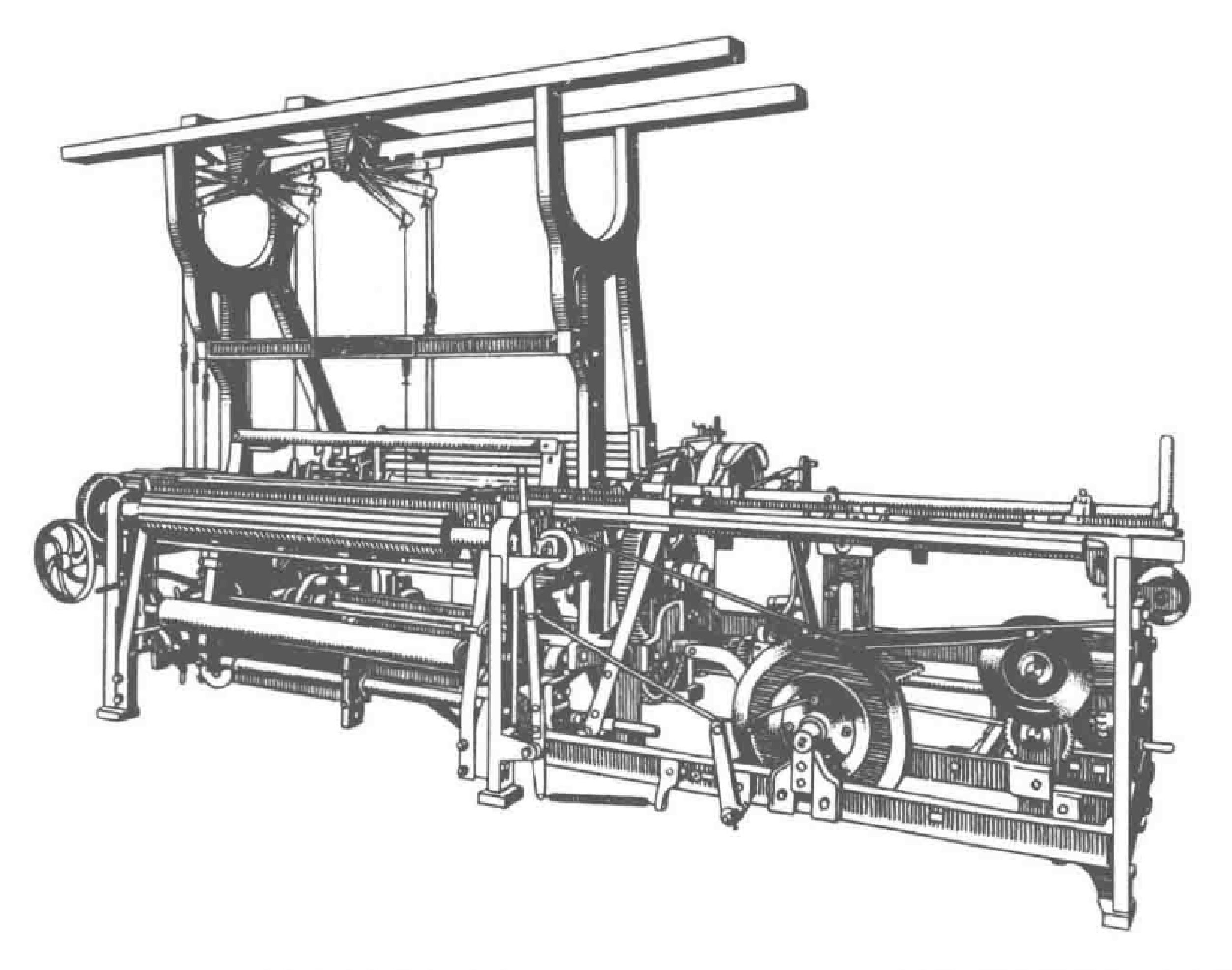


图 308　1910 年经改进后的布鲁塞尔地毯动力织机。织机上方是提花机图案控制装置的机架，右边是起绒“金属丝”和相关机构。

在 1832 年发明，在 1851 年和 1855 年又得到了进一步的改进。起绒经分别围绕着一个大的压印鼓轮卷绕起来，一次一根。鼓轮的圆周长是图案长度的 3 倍，一个可在鼓轮下面的轨道上来回移动的盛了染料的小车（1851 年），在纱线上印出拉长的图案花纹。交织的工艺类似于布鲁塞尔地毯，也是使用金属丝来产生绒圈，而不采用提花机和长经机架。这种方法仅使用一根起绒经，从卷轴上解下后以环状形式用金属丝起绒，由此按比例缩小图案至所要求的长度。由科利尔研制的用于生产织锦地毯的动力织机（1850 年）与比奇洛所改进的机器相结合，再利用一端装有刀片的金属线，就可用来织造织锦丝绒地毯。因此，织锦丝绒地毯与布鲁塞尔地毯的关系犹如威尔顿地毯与布鲁塞尔地毯的关系。19 世纪 70 年代，织锦布鲁塞尔地毯正逐渐取代五经架

的实体布鲁塞尔地毯。

染经地毯是一种双流程产品，由经线形成的图案完全位于地毯的表面。绳绒线（阿克斯敏斯特雪尼尔）地毯也是一种双流程织品，图案由纬线构成，颜色包罗万象。这种交织绳绒线地毯的工艺由格拉斯哥的坦普尔顿（J. Templeton）和奎格雷（W. Quiglay）发明（1839 年），改进自用于编织佩兹利细羊毛披巾的雪尼尔工艺（1836 年）。绳绒线织品最初按纱网织法用纬纱织机织出来，然后被切成分离的细条通过毛粗纺纬纱上折并汽蒸，使截面形成永久性的 V 形，每一细条都类似于毛虫状（法兰西雪尼尔）。绳绒线“毛虫”是在起毛色经织机上用锁边经、链经、衬垫经织在地毯上的，最初在 1839 年由手工织机织造，1876—1884 年，动力织机分阶段进入这一领域。单纬纱织机最先实现机械化，之后，由于亚当斯（W. Adam）的 1880 年专利得以推广，一些更为复杂的起毛色经织机也开始实现机械化。但在绳绒线毛织物的交织过程中，每次投梭之后仍用手工梳整到位，这使得昂贵的绳绒线地毯成为“在所有机织地毯中手工介入最多的”[6] 地毯。

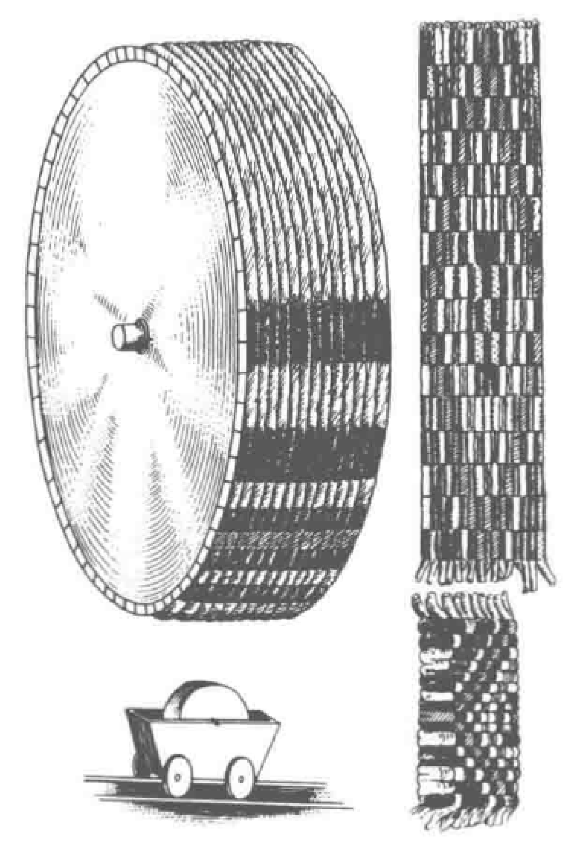


图 309　用于织锦地毯的压印鼓轮。着色后的经纱在交织前呈拉长的图案（图 307），在织造过程中缩短到要求的长度（通过起绒金属丝）。

机器簇绒地毯（即阿克斯敏斯特地毯）是最好的机织地毯，与东方地毯的特点相近。皇家阿克斯敏斯特动力织机是由美国纽约杨克尔斯的斯金纳（H. Skinner）经过 20 年的努力而研制出来的，这种机器在 1878 年被引进英格兰。斯金纳织机是一

种筒管式织机，它使用事先就按照图案要求绕上染色纱的一整列宽筒管，并在织机上部的支架上仔细排列成环，每个筒管提供一列准备插入地毯内部而回转绕着纬纱的簇绒，并且其总数与设计循环中的簇绒排数相同。第一台获得专利的阿克斯敏斯特宽式织机是1895年怀曼（Wyman）改进的具有一个以上筒管的织机。“夹片式”或提花阿克斯特织机是以布林顿（Brinton）和格林伍德（Greenwood）在英国获得的那种专利机（1890年）为基础的[7]，使用一个垂直的提花进料装置来提供各种色彩的绒纱，绒纱从织机背后的轴架抽出，夹片装置则在经纱之间插入簇绒。这种机器淘汰了斯金纳织机特别装设的筒管，但色彩的使用范围受到了一些限制。自1835年起，手工打结的“真正的阿克斯敏斯特”地毯起在维尔顿生产。但直至1906年，一种有效的织机才由法国的勒纳尔（Renard）研制而成，生产的地毯用机器打结，有点类似于东方的地毯，这种机器设有一套特制的夹片和提花附件。 585

织造业最重大的进步是美国发明的自动织机，它能通过更换梭中的纬管或梭本身，源源不断地自动补充纬纱。最成功的是诺思罗普（J. H. Northrop）织机，这种织机不必停机便能更换梭中的纬管。1890年，比诺思罗普换纬器更经济的换梭器首次被研制出来，但因为需要完善一种精确的经纱停运装置，所以直至1894年才获得专利。换纬器设有一个筒形仓或纬纱库，其内装有纱管（1895年为14管，到1911年达28管）。必要时，这种装置可把最下面的那根纱管压入梭中，把用完的纱管弹进下面的箱子（图310、图311），并把纬纱库上的新纬纱从插座上带到梭眼里。这样，除了换纬器之外，全套的诺思罗普织机还由自动穿纱梭、纬叉装置、经纱引出装置、断纬自停装置等几个基本的发明所组成。纬纱叉子或纬纱探针（包括一套梭眼纬纱剪切器）控制着更换装置，在纬纱最后用完之前，它们一直运行着。罗珀（Roper）经纱引出装置自动保持着经纱张力。罗珀的断经自停装 586

置使用由经线支持的探测器，当经线断开时它就能自动停机，这样能够消弭织布工长时间全神贯注所产生的精神疲劳。

作为一项机械工程上的冒险，诺思罗普织机对制造它的马萨诸塞州霍普代尔的德雷珀公司（Draper Company）的发展也是一种新动力。这家公司在1895年售出了它的第一台织机，而且还想更新“世界上规模最大的产业中最重要的部门里的所有设备”[8]。作为一种纺织机械，这种织机减轻了织工在抽纱、装纱、穿线、插梭等操作过程中的劳动强度，使工人的工作仅限于在必要时接上经纱和纬纱断头，并在方便时装填纬纱库。这样，织工就成了加料接头工。每名工人可能照

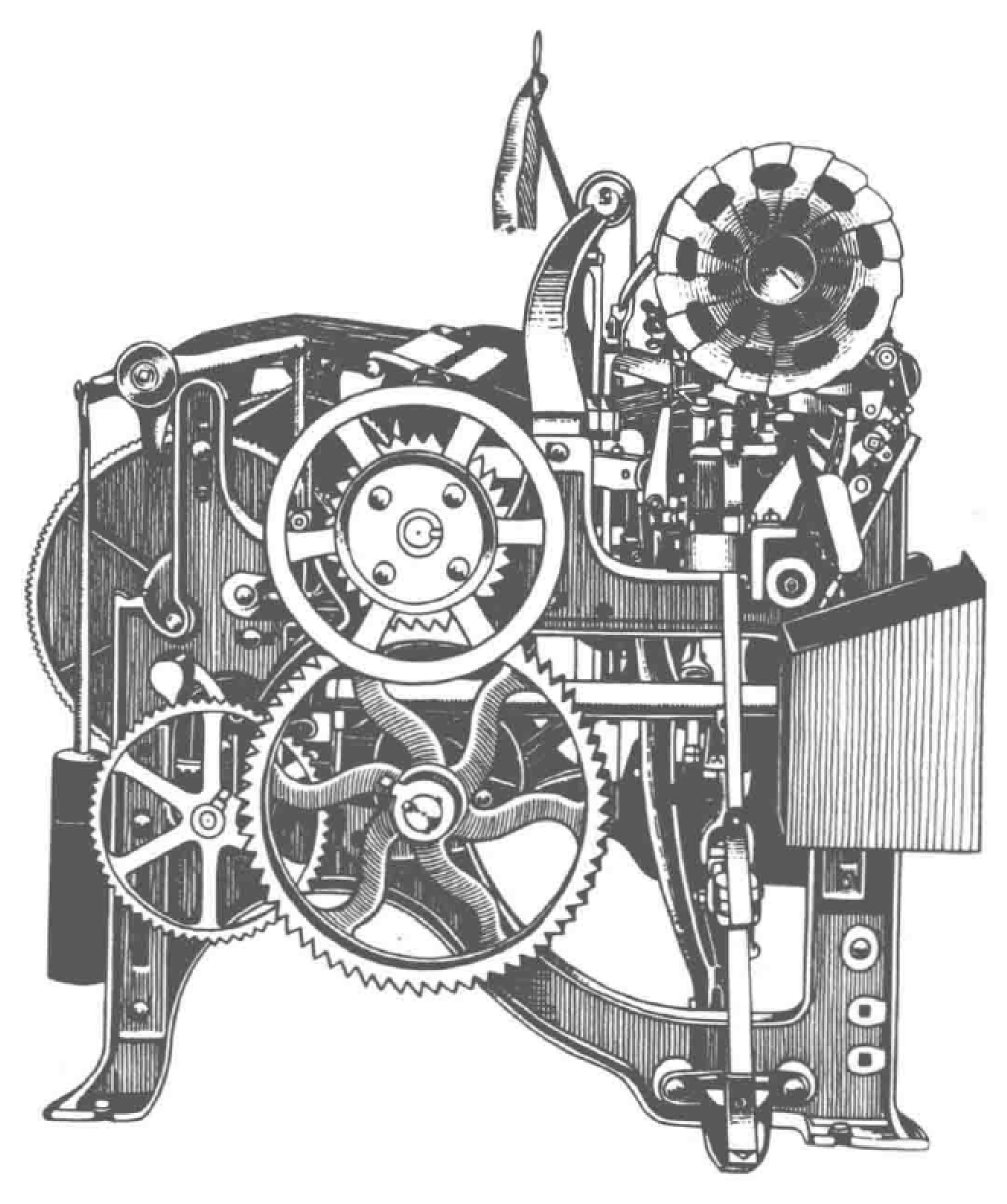


图310 诺思罗普自动织机（侧面图），1895年。

看的平织机的数量有了很大的增长，断经自停装置发明后的1895年，每名工人已能照看24台平织机。由于改用自动织机使工厂中所需的织工人数减半，诺思罗普织机能在总劳动力成本下降的同时提高产量并增加工人的工资。这种机器的发明标志着在织造工艺中资本取代劳动力已发展到高级阶段。

诺思罗普织机在新兴地区（如美国）比在传统地区（如兰开夏郡）传播得更快。兰开夏郡的劳动力资源丰富，而且商会对于那种能节省劳动力的机器深怀敌意，到1902年才引进第一台诺思罗普织机。这种机器的成本是普通织机的3倍，最初仅限于平纹织物的织造，并且也最适于在那些使用环锭直纺纬纱的纺纱和织布的联合企业中使用。它的运行速度比普通织机慢，而且占据的地板面积更大，更换纬纱的时候偶尔还会出现"双纬"的毛病。尽管如此，它所带来的进步仍然是非常巨大的。就像100年以前的动力织机一样，诺思罗普织机也在平纹棉布纺织业中初尝胜果。到1904年，它在美国的精梳毛纺产业特别是用棉经纱来织造交织织品的产业中得到了广泛应用。它还开始促成其他方面的革新，例如由于环锭直纺纬纱特别适合自动换纬织机，它就促成了环锭纺纱装置的革新。这使得普通织机的速度得到了提高，并使自动换梭织机得到了发展，成为一种在亚麻和黄麻业中更受欢迎的机器，并大大增加了自动

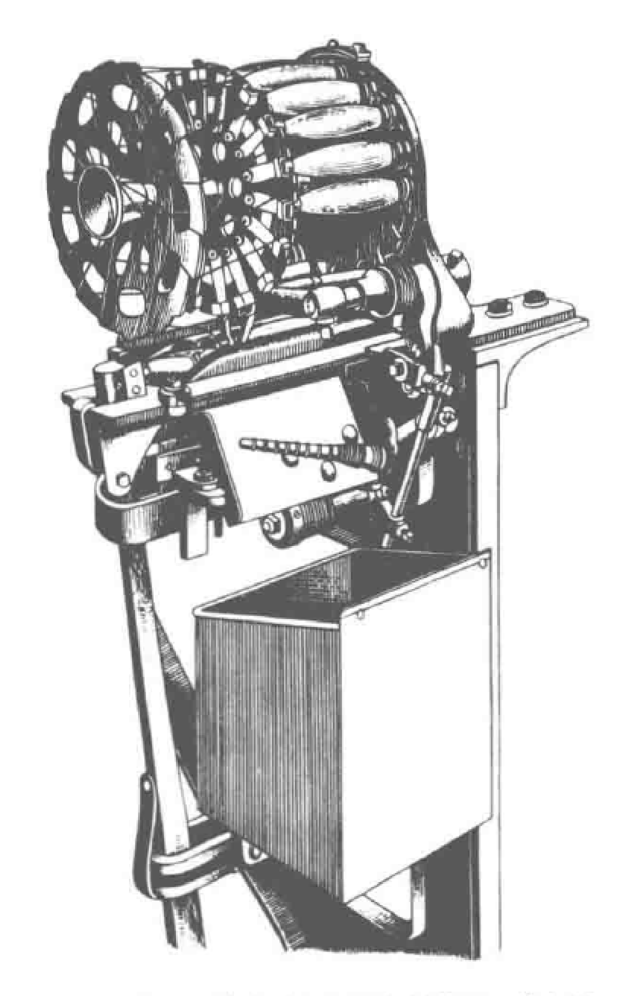


图311　诺思罗普自动织机的加料装置。将新的纱管插入时会将用完的纱管弹出。1895年。

 穿线织梭和断经自停装置的用途。这样，诺思罗普自动织机就奠定了织机未来发展的基准线，它是真正的“20世纪的织机”[9]。

24.5 整理加工

在整理加工工序中，特劳布里奇的戴尔（J. Dyer）的旋转式缩呢机自19世纪40年代起得到了广泛应用，最初在英格兰西部，尔后是在约克郡，并在至关重要的粗纺毛织物整理工序中替代了装有锤子的老式缩呢器。波恩的莫泽（E. Moserr）的“旋转起毛机”（1884年）装设了14个高速小直径梳毛辊，固定在一个大的鼓轮上高速旋转。它能使轻质织品起毛，从而生产出一种棉法兰绒（起绒棉织物）。

丝光处理工艺虽然不是由默塞尔（John Mercer，1791—1866）发明的，但为他所预言。他在19世纪40年代研究过浓烧碱对棉纤维的作用，并以“烧碱化处理”或不绷紧的丝光处理工艺获得专利（1850年）。由于当时的烧碱价格高昂，且经这种工艺处理的织物大约要收缩20%—25%，所以它并未取得商业上的成功。里昂的迪包利（P. and C. Depoully）将一种能在毛纱和棉纱或丝和棉纱混纺织物上产生“褶皱”效果的工艺申请了专利（1884年），依据的原理是烧碱能使棉纱缩短，但对丝和羊毛不产生作用。从1890年起，这种收缩效应就被棉布印花业利用来生产皱纹织物。1893年，洛（H. A. Lowe）在1889—1890年取得的专利——在绷紧的情况下用丝光处理工艺生产一种具有永久性光泽、能避免收缩的棉织物，由于缺乏财政支持被终止。

因为发明了一种类似洛的工艺并使之实用化，克雷菲尔德的洗染工托马斯（R. Thomas）和普雷沃（E. Prévost）在德国获得专利（1895年）。这种工艺从1898年起在英国、法兰西、德国和美国迅速流行起来，一开始被用来处理纱线，后来则被用来处理混纺织物。它开创了一个纺织品的化学技术的新时代，因为经过丝光处理的棉花

是一种新的纺织材料，经过化学处理后，棉纤维的力学、光学以及染色方面的特性就永久地不同于那些未处理过的棉纤维了。棉织物经过烧碱处理后，大大缩小了纤维中的空洞，并使纤维更接近于圆形而不是带形，增加了纤维的拉伸强度和染色性能。最为重要的是——虽然默塞尔没有意识到——绷紧的棉纤维经丝光处理，就能在表面产生一种永久性的与丝织品相差不多的光泽或光彩，且不受后续的漂白和染色处理的影响。运用施赖纳工艺（1895 年）可以使棉织物产生一种缎子般的光泽，这是在高温和高压条件下，靠一个非常精致的印刷钢滚筒或一台研光机来完成的，会在棉织物上产生大量的碎小反光面。

588

漂白工艺中的机洗是在 1845 年引入的，自 1853 年起，则用加压加碱蒸煮工艺来处理织物。自 19 世纪 40 年代起，甩干机即离心式干燥机［由巴黎的庞佐德（Penzoldt）发明于 1836 年］逐步得到使用。给染色工艺带来真正革命的是化学而不是机械（第 12 章）。在兰开夏郡的印花业中，1850—1888 年，滚筒式印花机基本取代了手工模版印花器，使得后者仅被用来处理那些前者无法处理的工作。在欧洲大陆，尤其是在法国和比利时，模版印花工艺（见篇末补白图）被介于模版印花和滚印花之间的佩罗工艺［由鲁昂的佩罗（Perrot）发明于 1834 年］取代。通过蒸煮来固定印花织物着色的成熟工艺在 1856 年实现了机械化，自 1879 年起得到了进一步的改进。

24.6 缝纫

缝纫机并不是手工缝纫的机械模拟物。手工缝纫只需要一根普通的针和一根长度有限的线，缝纫机则使用一种新型针，针尖靠近针眼，同时使用一种双股连续线，它们在织造业实现机械化后便问世了。能够产生一种链形针脚的蒂蒙涅（Thimonnier）式缝纫机（由一个法国裁缝在 1830 年获得专利），使用一根连续的

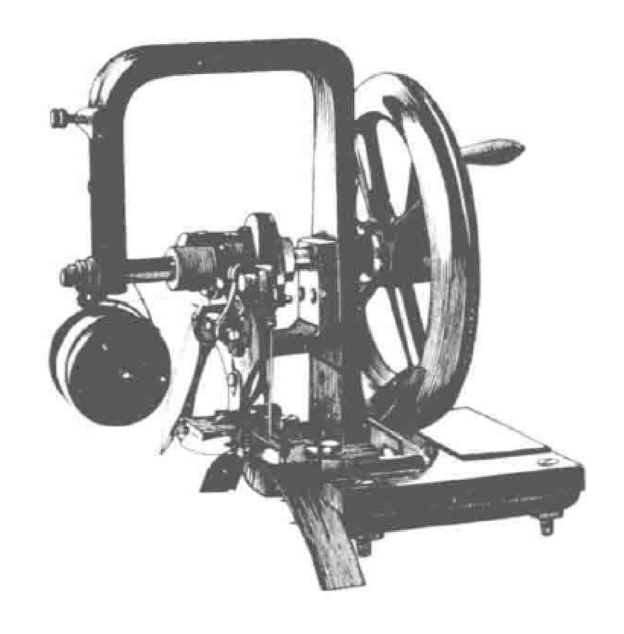


图312 伊莱亚斯·豪的原始缝纫机，1846年。这是第一台由尖头针眼和底绒梭结合的获得专利的机器。

线和一根做垂直往复式运动的针。马萨诸塞州的机械师伊莱亚斯·豪（Elias Howe，1819—1867）是第一个在美国申请实用缝纫机（图312）专利（1846年）的人。豪式缝纫机使用一种带凹槽的弧形针眼的缝衣针，同时还在织物背面用一个运行梭将第二根线穿过由上面针眼引线形成的线环，从而形成一种连锁针迹，这种针迹只有缝纫机才能完成。然而，被缝的织物的进给却不完善、不连续，缝合线迹的直线长度受缝纫板长度的限制。缝纫机标志性的进给是密歇根的橱柜制造工威尔逊（Allen B. Wilson）在1854年获得专利的“四动式进给”或“坠落式进给”。这种装置使用一个水平往复式齿面，齿向前突出并沿矩形轨迹运动，有点类似于四角形运行梳和螺杆式针板的运动。它不仅能使布料在每缝一针后自动连续前移，而且能让布料转弯、产生弧形针迹。威尔逊的一种旋转钩圈和线轴的联体装置获得了专利（1851年），这种旋转钩圈能抓取针上的线，形成的线环被抛越圆形的线轴（图313）。它提供了豪和胜家（Isaac M. Singer，1811—1875）的鱼雷形梭子以外的另一种选择，并且因为其旋转运动是连续的而运行得更快。旋转钩圈是后来德国人格里茨纳（Max Gritzner）发明的摆动梭（1879年）的基础，它们都因具备高速、耐用的性能而在工业缝纫机领域占据了统治地位。那种简单型的往复式或振动式梭子，则被大量地用来装备家用缝纫机。

589

第一台实用型家用缝纫机（图314）是由纽约匹兹堡的胜家研制

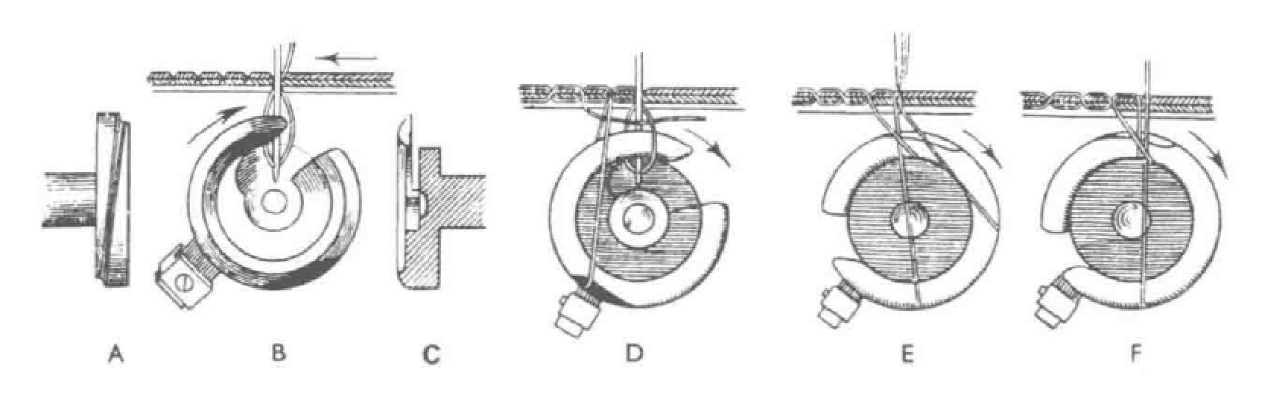


图 313　旋转钩圈。通过连续旋转运动形成线环，使速度大大加快。(A）侧视图；(B）正视图；(C）侧截面图；(D）(E）(F）钩和线的各种位置（背面图）。

和获得专利的。胜家式缝纫机具有如下标志性特点：在一块水平放置的工作台板上，一根垂直支柱连接着一根水平臂；一根做上下运动的直针取代了豪和威尔逊的弧形针；缝衣针旁的垂直压脚能把织物压住以防抬针时受到冲击；装在压脚里的弹簧可让其跃过针脚，并可适应不同厚度的布料；一个脚踏板代替了手摇曲轴轮。这些就是由胜家公司做出的最早的局部改进，它在 19 世纪 60 年代成为世界上最大的缝纫机生产商。第二种主要的缝纫法即链式缝纫法，也是在美国发明的。格罗弗（W. O. Grover）发明了双链式缝纫法（1851 年），吉布斯（James E. A. Gibbs）发明了单线链式缝纫法（1856 年）。这种缝纫法必须使用一个旋转钩或弯纱轮，并需形成一系列连续的线环，每一环都从前一环中穿过。

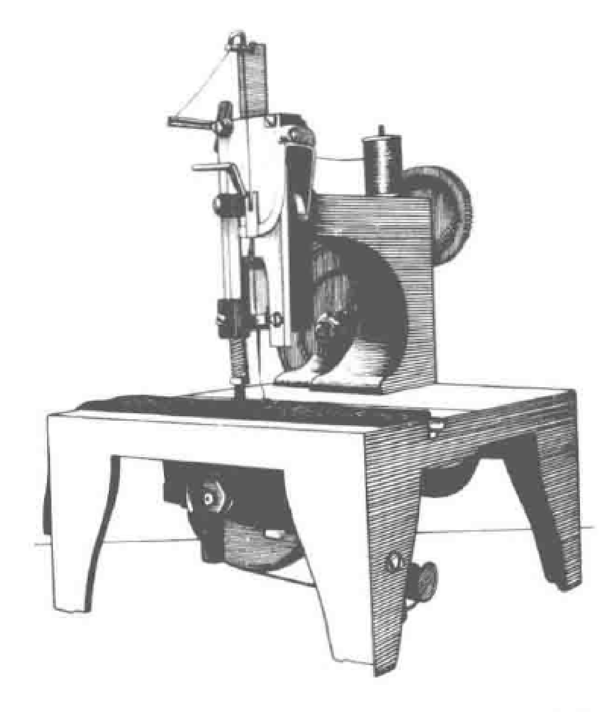


图 314　1851 年的胜家式缝纫机。它是后来家用缝纫机的雏形，具备后者所有的主要特性。

缝纫机在全世界产生了普遍的影响。它在轻工业中开创了一个巨大的缝纫机产业（在美国从 19 世纪 50 年代起，在德国从 19 世纪 70 年代起），提供了大量工业用缝纫机和家用缝纫

机。随着缝纫机工业率先推行专利共享（1856年）、产品的分期付款购买（1856年）以及产品的“售后服务”[10]，作为商业项目中“最受消费者青睐的机器”，缝纫机成为宣传最多、分布最广的时尚新产品，甚至出现在那些对其他现代机械一无所知的地区。缝纫机还得到了逐步改善，运行起来平稳、精确、“速度惊人”，省时省钱，大幅提高了产量。这种“铁制的女缝工”引起了也许是最后一次砸毁机器的骚乱，这种可以节省劳动力的优良装置，有效地终结了针线对妇女的传统束缚。

最重要的是，缝纫机彻底变革了许多工业部门。在纺织品领域，缝纫机从19世纪50年代起开始成为成衣业的基础，宣告了廉价衣服时代的到来，启动了一系列进一步的创新，尤其在裁剪和画线方面以及某些缝制的专业领域。用来剪裁布料的带形刀从家具制造业中用来切割镶面板的带形锯脱胎而来（1859年），只是锯缘换成了刀口。马斯顿（Marston）铺展划线法（1897年）革新了原料剪裁工艺，使得缝工能用所给布料剪裁出尽可能多的衣服。在美国，出现了一种看不见针迹的迪尔伯恩（Dearborn）式缝纫机（1899—1902年），这种机器的针迹只穿过织物厚度的一半从而使针迹隐蔽起来。同时，纽扣打孔和钉纽扣机也出现了，它们是因制靴制鞋业需要而由胜家公司最先制造出来，尔后由里斯公司（Reece Corporation）加以改进（1881—1895年）。缝纫机在各种织物需要缝制或接缝的地方都得到了广泛的应用，各种专业缝纫机也被开发出来，用以缝制漂白布、地毯、丝带、刺绣品、袜子、帽子、手套、雨伞、腰带、胸衣、帐篷、旗帜、裘皮衣物以及黄麻袋等。在丝带制造业中，缝纫机为在1876年问世的希伏利（Sehiffli）式丝带机提供了原型。在地毯制造业中，因地毯过于厚重而无法搬上缝纫机，所以一种可沿着地毯移动的特制缝纫机在1880年研制出来。缝纫机还在床垫、马具、室内装潢和书籍装订中得到应用。最重要的是，麦凯（Mekay）式缝鞋

591

机（1861 年）和古德伊尔（Goodyear）式滚边机（1871 年，1875 年）在制靴制鞋业中带来了一场革命。这些新型机器开始用于制鞋。凡是使用缝纫机的地方，都刺激了产品的增长，随着机械动力的应用，工厂产生了集中化趋势。

24.7 技术创新的意义

纺织生产方面新技术的出现，反映并支持了英国和美国作为发明先驱者的统治地位。它们以及法国、比利时对于进步所作的贡献（尽管后者贡献较小），极大地拓展了那些可有效地应用于工业技术资源的领域。从短期来看，新技术或许产生出一种基于专利权的技术垄断，但从长远的观点来看，它们扩大了竞争的区域并且增加了竞争的力度，从而产生出某种迫使人们去实行进一步创新的强制力，同时也有助于淘汰一批跟不上创新步伐的边缘企业。在机器建造方面，技术创新巩固了纺织机械工业的地位，使它从纺织业的附属地位中独立出来，并在技术创新发展最为迅速的地区加速了纺织业地理上的集中，还导致了被国外市场对纺织机械工业的需求催生的跨国分厂的建立。

592

作为生产活动中的一个要素，技术创新给予了纺织工业无法估量的内在经济支持。它节省了动力和原材料，加快了各工艺流程之间的操作速度和连续性。它加快了机械化进程，这点在纺纱业中比在织造业中显得更为突出，手工作业为机器作业所取代，家庭制造为工厂制造所取代。新的纺织技术要求更多固定资本的投入来建造工厂和厂房，并通过削减劳动力来增加资本支出与工资费用的比率。结果，在某些不能适应这种变化的企业中，出现了暂时的技术性失业，发生在纺织工业区内的宪章派争论（1837—1842 年）便从失业的木版印花工、羊毛梳理工、手工编织工以及手工织机工中获得了部分支持。机械化减轻了工人的体力负担，但增加了工作量，并因此增加了工人工作时的

精神压力。机械化增加了纺织品的产量和原材料的投入量，推动了初级产品的生产和国际贸易的总体发展。机械化改善了成品的质量，且通常降低了价格，刺激了需求，创造了就业机会。机械化暂时增强了欧洲在工业中的霸主地位，但为现代制造工业在美国以及欧洲以外的世界其他国家的巨大飞跃铺平了道路。

相关文献

[1] Law, E. *Text. Mfr, Manchr*, 7, 248, 1881.
[2] Fenton, F. *Ibid.*, 7, 328–9, 1881.
[3] 'Heilmann's Wool Combing Machine: Report of the Trial of an Action between J. J. Heilmann... and J. T. Wordsworth', pp. 8, 11. London. 1852.
[4] Bradbury, F. 'Worsted Preparing and Spinning', Vol. 2, p. 305. Halifax, 1914.
[5] Editorial. *Text. Rec.*, 17, 217, 1899.
[6] Cole, A. H. and Williamson, H. F. 'American Carpet Manufacture ; a History and an Analysis', p. 133. Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1941.
[7] Roth, A. B. *J. Text. Inst. (Proc.)*, 25, 139, 1934.
[8] Draper, G. O. 'Labour-Saving Looms', p. 41. Cook, Milford, Mass. 1904.
[9] Utz, L. 'Die Praxis der mechanischen Weberei', pp. 286, 316. Uhlands technischer Verlag, Leipzig. 1906.
[10] Jack, A. B. "The Channels of Distribution for an Innovation: The Sewing Machine Industry in America, 1860–1865" in 'Explorations in Entrepreneurial History', Vol. 9, no. 3, pp. 113–41. Research Center in Entrepreneurial History, Harvard University, Cambridge, Mass. 1957.

参考书目

Barlow, A. 'The History and Principles of Weaving by Hand and by Power' (2nd ed.). London. 1879.
Bradbury, F. 'Carpet Manufacture.' Lord & Nagle, Boston, Mass. 1904.
Idem. 'Jacquard Mechanism and Harness Mounting.' King, Halifax. 1912.
Draper, G. O. 'Labor-Saving Looms. A Brief Treatise on Plain Weaving and the Recent Improvements in that Line with Special Reference to the Northrop Looms manufactured by Draper Co., Hopedale, Massachusetts, U.S.A. ' Cook, Milford, Mass. 1904.
Faraday, Cornelia B. 'European and American Carpets and Rugs.' Dean Hicks Company, Grand Rapids, Mich. 1929.
Fox, T. W. 'The Mechanism of Weaving.' London. 1894. (See also 2nd ed., Macmillan, London. 1900.)
Jubb, S. 'The History of the Shoddy Trade: its Rise, Progress and Present Position.' London. 1860.
Leigh, E. 'The Science of Modern Cotton Spinning' (4th ed.). Manchester. 1877.
Murphy, W. S. (Ed.). 'The Textile Industries' (3 vols). London. 1910.
Nasmith, J. 'Modern Cotton Spinning Machinery.' London. 1890.
Taylor, A. 'History of the Carpet Trade.' Heckmondwike. 1874.
Sewing Machines:
Bolton, J. "Sewing Machines" in 'Report of the Committee on Awards of the World's Columbian Commission, Chicago, 1893', Vol. 2, pp. 1405–13. Washington. 1901.
Burlingame, R. 'March of the Iron Men, a Social History of Union through Invention', pp. 360–77. Scribner, New York. 1938.
Byrn, E. W. 'The Progress of Invention in the Nineteenth Centruy', pp. 183–94. Munn, New York. 1900.
Doolittle, W. H. 'Inventions in the Century', pp. 310–27. Linscott Publishing Company, London. 1902.
Ernouf, Baron. 'Histoire de quatre inventeurs français au dix-neuvième siècle', pp. 143–80. Paris. 1884.
Eulner, K. A. 'Die deutsche Nähmaschinen-Industrie.' Schneider, Mainz. 1913.
Feldhaus, F. M. "Nähmaschine" in 'Die Technik der Vorzeit, der geschichtlichen Zeit und der Naturvölker', pp. 739–41. Engelmann, Leipzig. 1914.
Grothe, H. 'Bilder und Studien zur Geschichte vom Spinnen, Weben, Nähen' (2nd ed.), pp. 365–89. Berlin. 1875.
Herzberg, R. 'The Sewing Machine: its History, Construction and Application.' London. 1864.

Iles, G. 'Leading American Inventors', pp. 338–68. Holt, New York. 1912.

"The Iron Seamstress." *Edison Mon.*, 17, 110–13, 139–42, 1925.

Karmarsch, K. 'Geschichte der Technologie seit der Mitte des achtzehnten Jahrhunderts', pp. 703–8. Munich. 1872.

Kohler, W. 'Die deutsche Nähmaschinen-Industrie.' Duncker und Humblot, Munich. 1913.

Lewton, F. L. "The Servant in the House: a Brief History of the Sewing Machine." *Rep. Smithson. Instn* for 1929, 559–83, 1930. (Reprinted New York, 1931.)

Lind, H. W. "Die Nähmaschine" in 'Das Buch der Erfindungen, Gewerbe und Industrien' (9th ed.), Vol. 8, pp. 445–70. Leipzig. 1898.

Lyons, L., Allen, T. W., and Vincent, W. D. F. 'The Sewing Machine.' Williamson, London. 1924.

Matagran, A. "Barthélemy Thimonnier (1793–1857), inventeur de la machine à coudre en France." *Bull. Soc. Enc. Industr. nat.*, 130, 70–94, 1931.

Meyssin, J. 'Histoire de la machine à coudre: portrait et biographie de l'inventeur B. Thimonnier' (5th ed.). Lyons. 1914.

"Notice sur les machines à coudre." *Bull. Soc. Enc. Industr. nat.*, second series, 7, 339–53, 1860.

Parton, J. "History of the Sewing Machine." *Atlan. Mon.*, 19, 527–44, 1867.

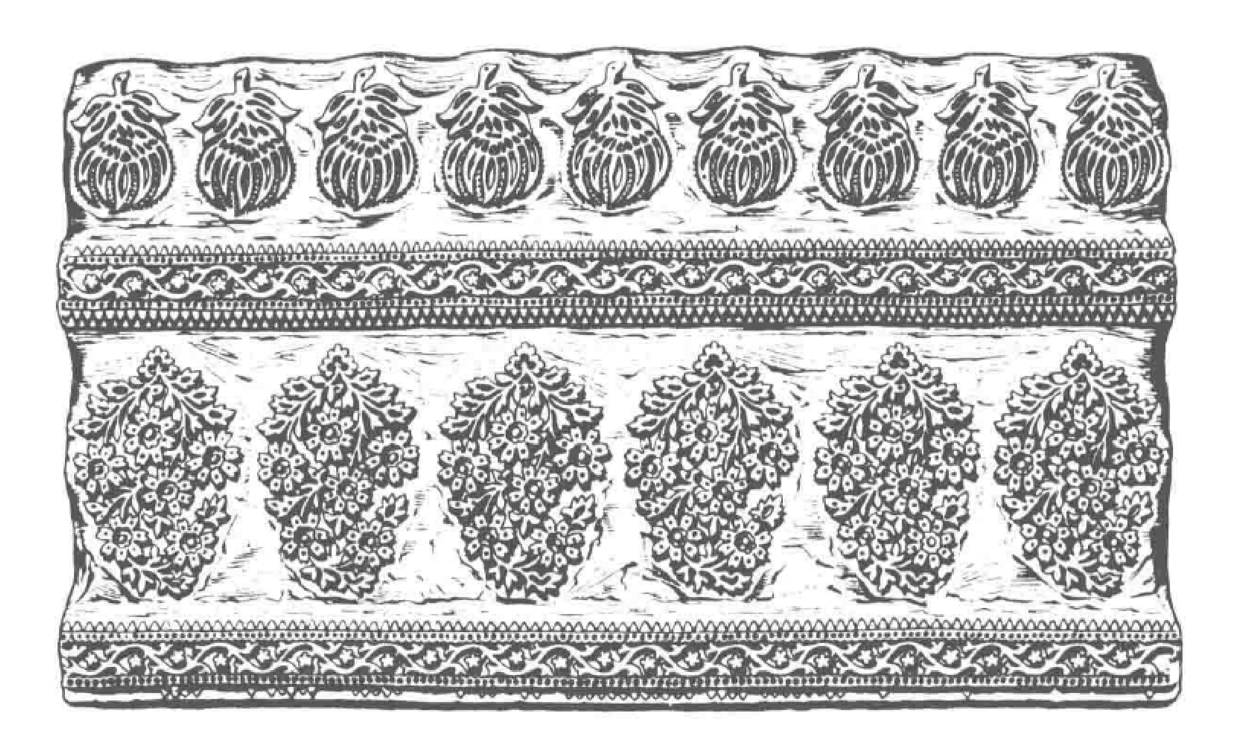
Richard, H. 'Die Nähmaschine. Ihre geschichtliche Entwicklung, Construction, und ihr jetziger Standpunkt.' Hanover. 1876.

Salamon, N. 'The History of the Sewing Machine, from the Year 1750, with a Biography of Elias Howe, Jn.' London. 1863.

Sewell, S. J. 'A Revolution in the Sewing Machine.' London. 1892.

Urquart, J. W. 'Sewing Machinery.' London. 1881.

Wilson, N. "The Story of the Sewing Machine" (12 articles). *J. dom. Appl.*, Vols 19, 20; 1891, 1892.



19 世纪晚期用于棉布印花的木版。图案中的绝大部分用金属条制成，其余部分通过雕刻并用毡填充而成。

第2篇 针织品与花边

F. A. 威尔斯（F. A. WELLS）

24.8 针织品生产与花边生产的关系

虽然当今针织产业与花边产业颇为不同，但从历史和地理上来看，两者之间有着紧密的联系。它们最早都起源于英国，前者是在16世纪晚期发明的织袜机的基础上发展起来的，后者则是在19世纪早期发明的绕线式网格织机的基础上发展起来的。两种产业的主要生产中心至今仍位于它们最早兴起的区域，即英格兰中部的偏东地段。

现代针织业能够生产各类产品，包括袜子、内衣裤、外衣等。它的特征工艺是编结，其最简单的形式就是用单根线编织出一系列线圈，制成织品。相比之下，机织物基本上由经线和纬线交织而成。花边制造过程中的特征工艺则是捻线，机织花边的最简单样式平网花边就是由两个系统纱线织成的，它们分别是排列在织机上的经线和筒管上的纬线。纬线绕在一个极细的筒管上，并在经线之间穿行，每运动一次，经线就向一旁移动，以便让每一根纬线在返回时都围绕经线捻转。织造带有花色图案的花边时，必须使用更多的线。使用各种不同类型的机器可生产出品种繁多的产品，形成了复杂的商品类型，主要可分为平网花边、帘幕花边和利弗尔斯（Leavers）机织花边三大类。最后一种花边是以生产这种花边的特殊织机的发明者的名字命名的，既可用

于装饰又可用于服装的带有花色图案。生产这种花边的机器还可用于生产发罩。

这两种产业在19世纪的发展显示出明显的不同。机制花边是工业革命的典型产物，几乎从一开始就集中于工厂生产，并且很早就开始应用机械动力。在对此类产品日益增长的需求的刺激下，花边业为商业经营和技术发明提供了无限的机遇。与此同时，历史更久的针织业则呈停滞状态。直至19世纪中期，针织业才开始应用机械动力，而且此后的进步亦相当缓慢。迟至1870年，针织行业中的大多数人仍然还是那些受雇于家庭工场和小型作坊的织机编织工和手工缝纫工。因而，这些在1914年至1939年间跃居英国纺织贸易第三位的针织品，经历了一次至今令人难忘的工业革命。

596

24.9　针织品

针织业的兴起始于由诺丁汉郡加尔维顿的威廉·李（William Lee）发明的织袜机，他在1589年制成了第一台模型机（第Ⅲ卷，边码185）。18世纪中期，纺织机械的发明开创了一个新的工业时代，掩盖了两百年以前就制造出这种复杂而又精巧的机械的天才杰作的光芒（图版34A）。李在当时似乎就已经认识到，机织拼接[1]的袜子必须平整后接缝，从而奠定了此后两百多年中所有的管状织物都遵循的原理。实际上，所有的拼接衣物现在仍是按照这种方式织成的。后来，人们采用手工织机来编织管状物和无缝的织物，这些织物比较便宜，但洗涤时会变形。年长的织袜工常常不无揶揄地称其为"袋子"，拼接的衣服则被称为"剪贴"，它由一整块织物制成，因此在缝制中没有织边。

李引入的第二个基本原理是依靠针和穿孔器来控制线的运行。所

1　拼接的衣服就是经过裁剪加工才合体的衣服。环行式织机通常按照每排织一定的线圈数来编织管状织物，用不着拼接。

用的针有一个带弹簧倒刺或倒钩的钩子，这根倒钩能被压入一个凹槽内，以便让针上的线穿过那排已经形成的小线圈，从而完成一幅横列织物（图 315）。小线圈是由弯纱器在两根针之间形成的，并能借助弯纱器在针上推进。在老式的织袜机上，这些运动由踏板来控制，两块踏板能推着连杆从一边向另一边运动，连杆则把线夹提升到装设弯纱器的地方，中间的踏板操作退圈板。手工拖着这些线圈通过针头就完成了一幅横列织物，不再进行收针和拉展的精加工。

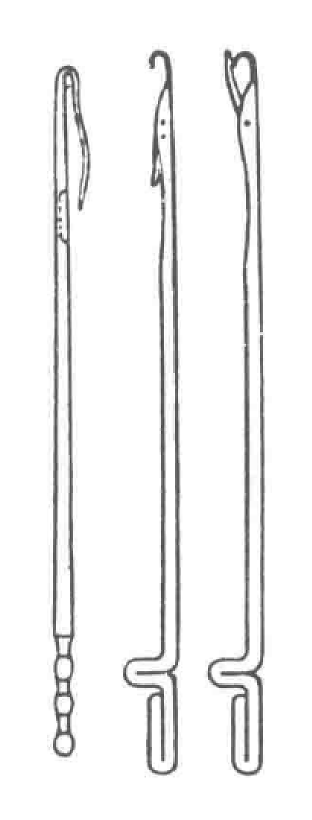


图 315　钩针（左）、舌针及舌针的针舌在闭合时的状态。

根据李的原理制造的织机在此后三个世纪广为流传，直至今天还有少量在使用。由动力驱动、能生产自动拼接织物的现代织机，也具有与这种老式

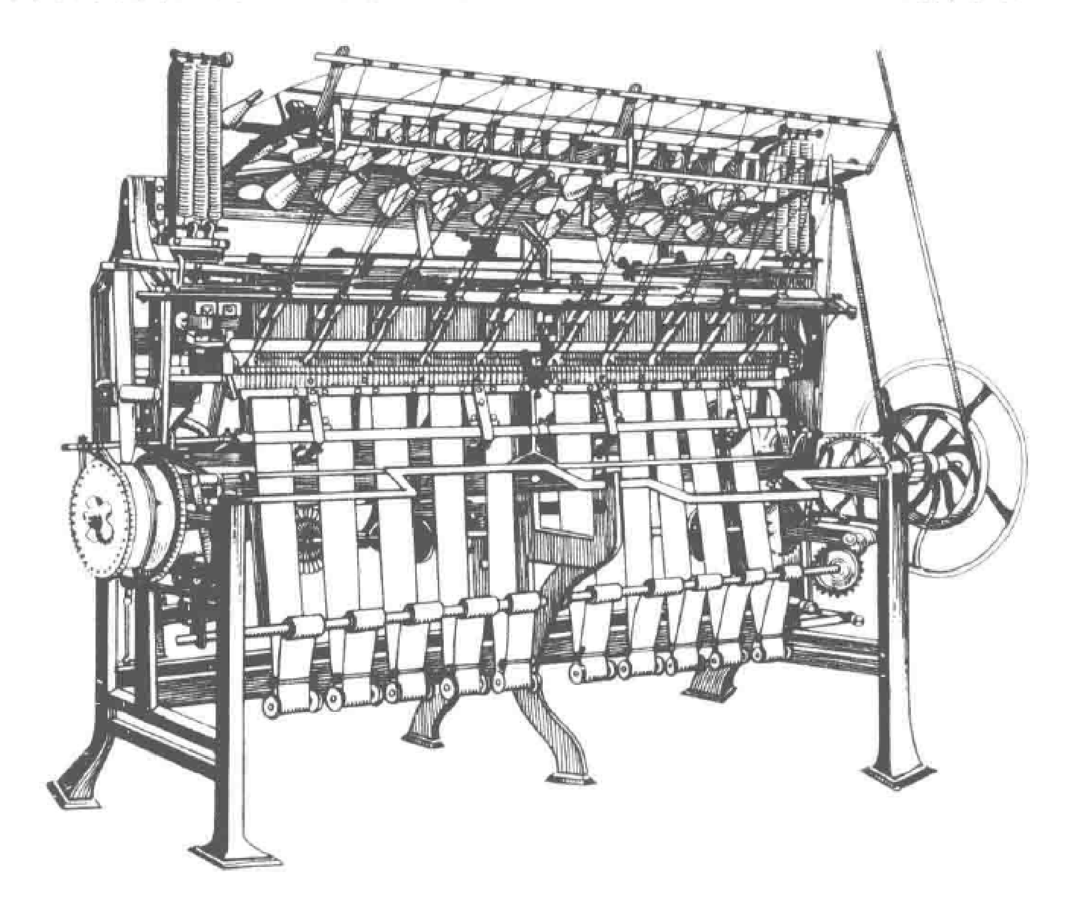


图 316　旋转式罗纹面料织机。图中显示出了配备两套织针的斯特拉特织机的基本形状。这种织机的编织方式与手工织机相似，但已改为做旋转运动，并加宽至能同时生产 10 幅织物。

织机基本相同的结构，包括倒钩针、弯纱器和退圈板。在应用机械动力之前，所做的主要改进是生产能编织花样图案的设备。1758年，斯特拉特（J.Strutt，1726—1797）申请了一项能编织有罗纹织物的附属设备的专利。这种设备由另一排垂直装设的针组成，并能在原先水平装设的针之间穿行（图316）。斯特拉特原先是农民，后来则通常被人们视为继李之后针织业最著名的发明家。后来，他与阿克赖特（Richard Arkwright）合作，并帮助德比郡建立了棉纺业。

从对这种机械的描述中显然可以看出，在织袜机中应用机械动力要比纺纱机甚至织布机难得多。但对这一行业的技术进步来说，机械方面的困难并不是唯一的障碍，甚至不是主要的障碍。在19世纪上半叶，织袜业是一个密集劳动力的行业，雇用着大量的工人，除男人之外，还包括大量的妇女和儿童，后者大多从事绕线、接缝和修补等辅助性工作，有些年纪很小的男孩（有时候也有女孩）经常上机操作。大多数工人来自乡村，因为那里几乎没有其他可供选择的职业。

运用机械动力所进行的第一次成功的试验，针对的并不是传统织袜机，而是另一种类型的机器。它装有排列成环状的织针，显然简化了必须运用旋转运动来工作的问题。早在1816年，这种通过转动一根操作杆来工作的机种就由布律内尔（M. I. Brunel，1769—1849）取得了专利。然而，这是一种仅能织出单一直筒状织物的环形织机。在那些对所谓的“袋子”和“剪贴”心存偏见的人看来，布律内尔式编针织机不过是不足为奇的一种新鲜玩意儿，毕竟平纹织物已能用宽式手工织机进行低成本生产了。直至19世纪40年代，人们才着手制造动力驱动的环形织机，先是在德国的开姆尼茨，后来是在英国的拉夫伯勒。

随着人们对环形织机重新产生兴趣，技术改进方面也出现了显著的进步。1847年，莱斯特的汤森（Matthew Townsend）申请了一项环形罗纹织机的专利。1856年，他又申请了第二项专利（图317）。

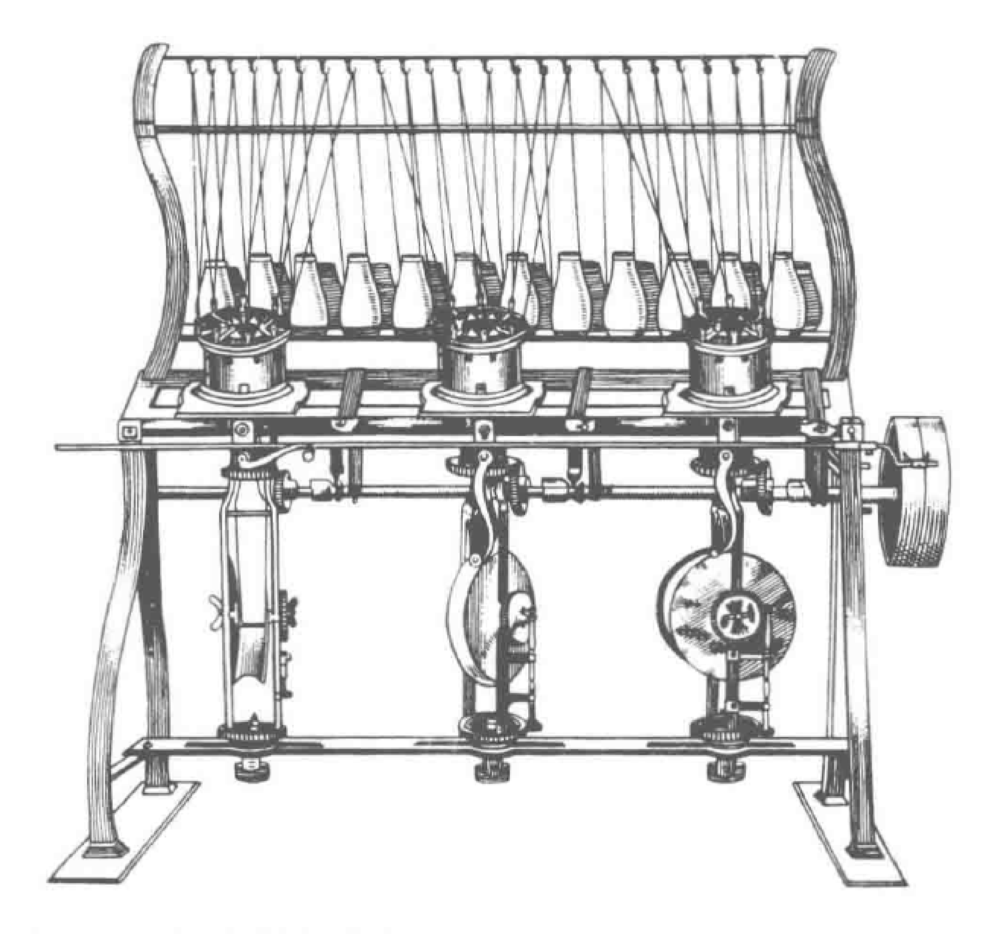


图 317 三头环形织机的早期机种。这种机器使用了舌针，并能生产管状织物。当它的头部旋转时，它的针就由凹轮来控制升降。当针上升时，它的舌就张开。然后，针的弯头就从进料器中放掉线，同时针被拖着通过织物。这种运动封闭了针舌，并把线弯钩成一个线圈（见图 315，舌针）。

这些发明给无缝袜行业的发展注入了巨大动力，因为随着有弹性的罗纹织物的出现，其缺少精加工的缺陷就不太为人所注意了。汤森还发明了一种新型倒钩针（或称舌针）（图 315）。这是最重要的一项发明。在老式的倒钩针上，带弹簧的弯头必须靠推杆压紧，但在新的舌针上则装有一个针舌，通过针穿过线的运动来控制针舌的开或合，因而不需要推杆。从此以后，所有的普通织物都用这种针来针织。由于使用舌针时必须把针舌用铰钉固定在针杆上，就不能使用那种比较精细的针了，这样，在加工高级织物时仍必须使用倒钩针。

应用机械动力的第二阶段包括适应平面织机的旋转运动以生产各

种样式的织物。这方面的先驱是诺丁汉的巴顿(Luke Barton)。加盟海因-芒代拉(Hine & Mundella)公司后，巴顿在1854年推出了一种能同时生产好几种式样袜子的机器，收针的设备由旋转运动驱动。但是，这种机器的最大进步还应归功于科顿(William Cotton，1786—1866)，他的名字在织袜业内无人不知。科顿早期的工作是在他受雇于劳克布劳夫的卡特赖特和沃纳公司(Cartwright & Warner)时完成的。1864年，他终于设计出后来成为科顿专利织机的原型机。这种专利织机以其适用性而广享盛誉，后来的机型则能同时生产一打或更多的袜子，并能用来针织各种式样的服装，这使得科顿同时以专业织袜机营造商这个新阶层中的最早成员而闻名。

599

科顿专利织机的改进工作一直持续到今天。人们一方面，一直在努力提高这种机器的生产能力，另一方面努力尝试通过使用更大、更快的机器，来实现生产出更高档的织物提高生产能力的目的，而生产更高档的织物则需要更好的针和圈器。生产各式丝袜和尼龙袜的现代机型每英寸装有40根针，能同时生产32只袜子。这种机器的可靠性显然取决于制造的精度。同时，织袜业的发展在很大程度上也应归功于工程技术的改进。到19世纪末，织袜机械制造在德国和美国已成为一种重要的工业，这两个国家研制出的几种机型在英国也很快得到广泛应用。

最初，美国人把精力集中放在改进能生产织物和无缝袜的圆形织机上，美国在这方面最著名的发明家是斯科特(R. W. Scott)。1890年，他研制出一种机器，能够编织一种仅在脚趾部分有一小缝口的袜子。一个女工能很容易地操作一组这样的机器，因此生产出来的袜子比那些由熟练男工用大量缝制的拼接活进行末道加工的产品要便宜得多。更重要的是，无缝袜子可随着其圆筒尺寸的大小改变其款式。尽管顺腿长从上到下每一横列的织针数都是相同的，但从小腿到髁骨那一段，袜筒会越织越紧密。

600

织袜业在19世纪下半叶的增长不仅得益于编织机的改进，而且也得益于动力驱动的特种缝纫机的改进。手缝拼接工作极端乏味，因为这样织成的织物要一针一针地把织边连接起来。这道工序的机械化标志着技术创新中一个重要阶段的到来，因为它减少了织袜业中辅助工的数量。据说第一台接缝机约在1858年由诺丁汉的坎皮恩（Campion）制造，这种机器现在仍在使用。它的区别性特征是一套转动的环，环上带有一些与待缝合或连接的织物尺寸相对应的针。当环转动时，由人工为其持续送进织物，每一根针都插入一个线圈中，这样两块织物的边缘就被缝接起来。

用裁成的衣片缝制衣服时，出现的问题就更多。当线圈被割断后，针织品会暴露出脱散的缺点。因而，被剪开的衣料必须有很结实的接缝，但过宽的接缝又很不美观，在内衣中出现也会让人感觉穿着不舒服。能产生单排链形针迹或锁形针迹的普通缝纫机虽然能提高产量，却没有令人满意的接缝。不过，1887年，美国人发明了一种“包缝”双线机，不仅能产生更牢固的接缝，而且能把织物的边缘修整好并覆盖起来。这种机器每分钟能走3000针，给内衣裁剪业带来了巨大的刺激，很好的弹性使它特别适用于针织品。

24.10 花边

不时就会有人说，机织花边制造业是从老式织机编织业中发展起来的。这样讲的确有几分道理，因为在18世纪后期，人们做过许多尝试，企图用织袜机模仿手工来制作花边。但是，正如我们已经提到过的那样，花边是起绞而成，并不是织成的。这个工艺过程的机械化最初由希思科特（Jone Heathcoat，1783—1861）用他的珠罗纱织机实现，他因此在1809年取得了专利（图版34B）。珠罗纱织机以纱线横动而与众不同，这种工艺使织物变得又牢固又耐用。正如其现在的名字平网机一样，在希斯科特的这种机器中，经线是直向排布的。青铜做成

的双薄盘式筒管（图 318）的两片盘之间绕有线，这种筒管排列成两组，一正一背，它们在凹槽的活动架中以钟摆状运动通过经线。每通过一次，经线就先左后右地被摇动一次，于是就绕着经线将筒管上的线绞转了起来。然而，这些筒管还能做进一步的运动。当借助于推纱杆把一些来自背面的筒管拖到前面来时，整个装置就向左移一格；同样地，当正面的筒管变换到背面时，整个装置会向右移一格。按照这种方式，筒管除了从后到前的运动之外，还会逐渐从机器这一端运动到另一端。这样一来，筒管上的线就会斜穿过织物，一半斜向左，一半斜向右。

必须设法把足够多的筒管放入有限的空间内，这是希思科特型机器的主要问题之一。如果是并排放置，那就必须把这些筒管加工得尽可能细。为了解决这个问题，希思科特用两排筒管替代了一排筒管。在第一排通过之后，经线即向前移一格；第二排筒管通过之后，经线同样移动一格。于是，这种经线的附加运动，产生了和单排筒管（数量等于两排）通过一样的效果。

值得称道的是，希思科特发明的成功不仅取决于他发现了正确的机械原理，同时还取决于机械部件的制造精度，尤其是筒管和台架。对加工精度的要求已在描述织袜机的改进时提及，颇有意味的是，希

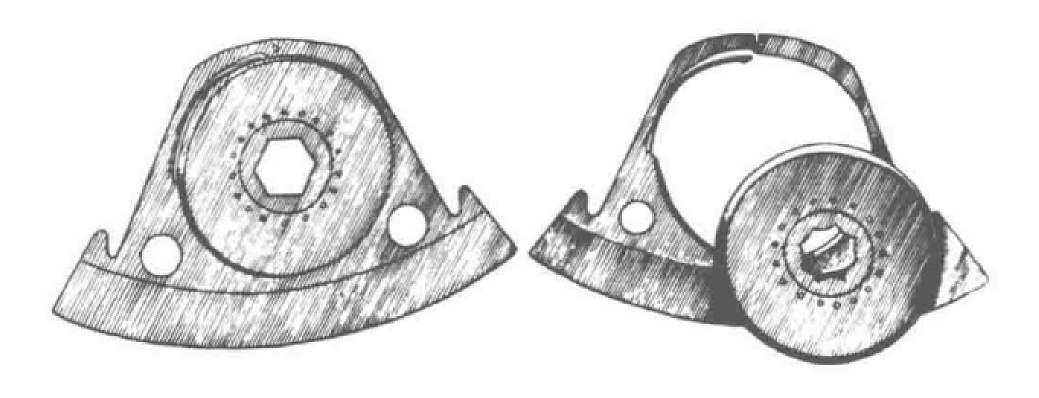


图 318　筒管和台架。台架在与机器长度方向一致的横杆上的凹槽中或游架上移动。台架上刻有凹槽以装设推纱杆，这些推纱杆可使它们来回运动。不过，还有其他办法可使台架运动，比如在平网织机的底部就装有齿轮，这些齿轮能与那些操作装置相啮合。

思科特和那些机织花边业的先驱们都是那种与旧产业有关的织机方面的工匠。花边业之所以最早兴起于诺丁汉，很大程度上是缘于这一因素。尽管后来在英格兰西部、苏格兰南部和其他一些国家，特别是法国、德国和美国也创建了花边制造业，但诺丁汉在花边机械制造业至今仍然保持着事实上的垄断地位。

早期的花边制作和袜类针织一样，是用手和脚来操作的。为了完成这种复杂的运动，必须使用 8 根操作杆和 2 块踏板。虽然早期的织机仅能织出窄花边，但劳动强度仍很高。操纵织机需要高超的技术，因为织机的运行顺序完全取决于操作者，操作顺序稍有差错，织物就会变得一团糟，甚至会损坏机器，因此熟练的工人会要求高薪。通过使用更宽、速度更快的织机来提高产量的愿望，促使人们采用机械动力。令人吃惊的是，改进这种机器使其做旋转运动的机械问题竟然迅速地得到解决。1817 年，林德利（Lindly）在这方面做了首次尝试，但未获成功。其他人接踵而至，希思科特在维尔顿的新工厂（在他位于拉夫伯勒的工厂被卢德派[1]摧毁后于 1810 年迁入）里首次成功地应用了机械动力。

很少有其他产业能比 19 世纪的花边业有更惊人的发明纪录，因为这是一个真正的手工行业，在过去没有用过任何机械，却在短短几十年里被机械生产代替了。正如人们所预料的那样，在机织平网花边获得成功后，随之而来的就是试用机器织造有花纹图案的花边。人们发明了各种各样的装置来操纵筒管上的线和经线，以便能用珠罗纱织机生产花点一类的简单图案。但由于筒管上的线横行时必然要求织物的花式有规律地作业，更复杂的图案仍然必须用手工在花边上刺绣出来。于是，人们渴望有一种能够复制手工织造花边的各种复杂图案的机器。1813 年，利弗尔斯（John Leavers，1786—1848）设计出来的机器达到了这一目标。和希思科特一样，利弗尔斯也是一个织匠。为避

1　卢德派是破坏机器的骚乱者，1811—1816 年活跃于英格兰中部各地。

免自己原本是为生产平网花边而设计的机器（图版35B）与希思科特的专利发生冲突，利弗尔斯不得不采用新的工作原理。这种机器的新颖之处在于使用了单排绕线筒管，这种简化有助于适应后来带有图案花纹花边的生产。对于一定幅宽的织物来说，单排筒管的使用意味着在希思科特织机上一个筒管所占据的空间（另一个位于其背后），现在不得不并排放置两个筒管。这样，利弗尔斯能否获得成功，就看他能否把筒管和台架做成希思科特所做的一半那么细。这个任务是由汤普森（Thompson）和谢泼利（Shepperley）完成的，后者是一位表匠。这个行业的许多成员后来都被吸引到诺丁汉，并且生产了许多筒管和台架以满足日益增长的需求。

603

19世纪30年代，那种按照事先确定好的花样图案来控制线的提花装置在纺织业中已经得到了广泛使用。经过多次尝试，德夫里尔（Hooton Deverill）终于在1841年把这种装置成功地应用到利弗尔斯织机上，这就奠定了这种织机至今仍在使用的制造方法（图版35A）。按照花样图案的特征，生产时必须使用几组垂直线，每组线分别穿过一根沿机器宽度方向的导纱棒上的小孔。在织机旁的提花装置的驱动下，导纱棒做侧向移动时，线就按照图案上的要求移动了相应的距离。随着垂线的每一次运动，筒管上的线也会在它们之间运动，并且按照规定的间隔把它们束起来。利弗尔斯织机仅使用一排筒管，因此非常容易配合提花装置，这是因为它能保证绕线筒管上的线迅速穿过垂直的线，并且为导纱棒的插入留下必要的空间。

装备了这种提花装置之后，利弗尔斯织机就成为一种非凡的多用途织机（图版36A）。它能生产用作装饰的窄幅花边——这种产品由花边织成后抽出来的线连接在一起制成，也能生产用作衣料的宽幅花边。采用上述两种方法，能复制出手织花边的绝大多数传统图案。

花边机的第三种主要类型即窗帘织机，是由诺丁汉的一位制图员利夫西（John Livesey）设计出来的（尽管也有人声称，利夫西在设计中

吸纳了他们的一些设想)。窗帘织机(图版36B)是最早的珠罗纱织机(图版34B)的改良,它仅使用一排筒管,而且因为筒管上的线是不横穿的,所以如果不是用来生产图案花边,也能生产一种与平网织机的圆形网孔不同的正方形或者“直到底”的网格。然而,利夫西织机生产的是带有花样图案的网格,尽管其图案设计要比利弗尔斯织机所能生产出来的线条粗一些。提花装置并非用于规则地做横向运动的导纱棒,而是通过提花夹来控制单股线。这种窗帘织机的另一个能与利弗尔斯织机区分开来的特征是提花装置安装在织机上方,提花夹用一根长带和织机连接起来。

604

随着上述三种织机的使用,花边业在19世纪下半叶迅速地发展起来。技术仍然在不断进步,但这一时期的大多数发明与其说是对原理的修正,不如说是对已有设计的改进。人们千方百计地改善某些部件尤其是台架的性能,在操纵利弗尔斯织机台架时引进的“通过法”就是一个著名的例子,它使台架运转得更平稳、速度更快。工序和设备上所做的改善,使得生产更高级的机械成为可能。值得注意的是,技术的进步也深受时尚变化和花边设计(图版37B)中求新愿望的影响。花边业给机械方面的创新带来了许多机会,并且设计出了无数装置。当然,进步的同时也伴随着争夺专利权的无休止的诉讼。那种能获得好销路的成功技术创新给发明者和赞助公司带来财富,但同时由于技术上的失误或对市场需求的判断错误,也浪费了许多时间和钱财。

鉴于多用途花边织机(现在被称作传统花边织机)最初的高投入和极长的寿命,几乎不存在通过试验对其工作方法进行彻底改造的动力。仅有的一个重要例外是巴门(Barmen)织机,它在法国人马赫(Malhère)的发明基础上制成,其改良型在1894年获得专利。这种机器的最惊人之处就在于能够再现手工梭结花边织工的动作,它在形式上属于圆形织机,筒管围绕着中心齿冠排列,线在这上面就像舞者围

绕着五月柱旋转一样被编成绳。花边以管状的形式从这个齿冠中出来，当打开花边时，它们是单幅的，或者也可能是双幅的。巴门织机相对较小且操作简单，除了能够生产手织花边（图版 37A）的漂亮仿制品之外，还能生产好几种窄幅的织物。跟利弗尔斯织机的产量相比，这种织机的生产速度非常低，因为它过于复杂的运动会引起某些部件的严重磨损。巴门式织机虽在德国和法国得到了广泛使用，但从未在英国流行过。

第25章

金属加工

R. 查德威克（R. CHADWICK）

25.1 金属的熔炼和铸造

除了贵金属金、银之外，19世纪初期生产的可锻金属，还有铁、铅和铜。铅很容易从矿石中提炼出来，且易于加工，因此铅以铅板和铅管的形式得到了极其广泛的应用。18世纪和19世纪初期用于加工铅所使用的机器，后来都成了加工铜和熟铁所用的功率大得多的机器的原型机。在19世纪中期，金属加工工艺的进步主要跟铜和熟铁密切相关，英国则是这两种金属的最大生产国。熟铁用于各种各样的结构和工程项目，尤其是用于制造当时得到迅速发展的铁路的轨道。铜在当时主要代替铅来制作船底外壳，但也广泛用于制造家用的锅与盘、硬币、扣子和各种各样的小制品。

19世纪后期，工程技术无论在应用范围还是在精确性方面都取得了长足进步，因此那些陈旧和原始的轧机设备和其他金属加工轧机设备被更为复杂的大功率同类轧机设备取代，这些新型轧机设备能以高得多的产量、较快的速度和更高的精确度加工或锻造各种金属。这个时期还设计出新的冶炼方法（第4章），从而可冶炼多种黑色金属、有色金属和适合加工的合金。到19世纪末期，低碳钢已代替生铁和熟铁成为主要的结构材料，世界年产量已提高到2800万吨。到1900年，铜的世界年产量达到50万吨，虽然并非所有的铜最终都能用于

可锻铜，但这个数字与可锻铜和铜基合金的总和可能并没有多大差异。

对可锻金属数量和品种显著增长的最主要的要求，就是能够以适于锻造或轧制的固体金属块或金属锭的形式将这些金属及合金生产出来。后来加工金属用的轧制设备在尺寸和功率上的增大，就是为了能加工更大的金属锭或大钢坯。

606

在熟铁仍是主要的结构材料时，由于搅炼炉（第Ⅳ卷，边码106）是用手工操作的，单个金属块的重量被限定在100—150磅。在1860年之前，碳钢用亨茨曼（Huntsman）法（第Ⅳ卷，边码107）冶炼。使用这种方法时，渗过碳的熟铁要放入容量仅为50磅的坩埚中进行重熔，受到的限制包括坩埚的强度、熔炉达到所需温度的能力以及必须用人工把坩埚从焦炭炉或木炭炉中提起来。只有含碳量高的铁，才能进行商业性熔炼。1860年，贝塞麦（Bessemer）安装了第一座实用的熔炉，可以利用吹入的空气把多余的碳烧掉，同时把温度提高到能在熔融状态下获得含碳量不超过约0.1%的低碳钢（边码56）。早期的贝塞麦熔炉的钢水容量约为2吨，4吨容量的熔炉到1865年也已投入使用[1]。

其后不到10年，自炉外供应热量的西门子-马丁式平炉就发明了（边码57）。这种平炉通过使用蓄热室，利用热废气预热进入的气体以确保很高的炉温，这就使更大量地熔炼钢成为可能，再加上平炉在技术上的优势，很快便成了主要的炼钢方法。与此同时，钢锭的尺寸也在迅速增大，到19世纪末期，比较先进的轧钢机轧制的钢锭已重达5吨[2]。对于20世纪初制造的轧钢机来说，4—5吨只不过是美国和欧洲普通钢锭的重量。为把钢转变成可锻钢而发明的方法，在某种程度上受到早期熟铁生产技术的影响，特别是受到处理那些大型钢锭的繁重任务的影响。低碳钢很快就采用了标准法，直接从炼钢炉或使用带耐火衬里的大钢包将钢液浇注成竖直的圆柱形钢锭或矩形钢锭，随后再根据所需要的产品进行加工。与此同时，

继续在坩埚里熔炼数量较少的特殊钢，例如碳钢以及后来制造工具用的合金钢。生产这种钢的大钢锭时，要把许多小坩埚内的钢水注入一个钢锭模内[1]。

在 19 世纪前五十年的熟铁时期，由于铜的熔点比较低，生产出来的铜锭要比铁锭大得多。铜锭是从炼韧铜的最终精炼工序所使用的反射炉中用勺子手工舀出并浇注的（边码 83），工人把烘干待用的各式各样的铸锭模放在精炼厂的地面上。炼铜炉的熔融铜容量约为 5 吨，浇注小组由 6—8 人组成，每人拿一把容量约为 35 磅的手浇勺，从熔炉的炉头中舀满铜水。浇注大的铸锭时，浇注者个个都舀满浇勺，按照信号同时把浇勺中的熔融铜倒入铸锭模中，同时注意使熔融铜尽快平稳地充满铸模的底部，然后鱼贯通过熔池，依次舀满浇勺，把铜液倒入铸模中，再返回来重复上述操作。他们巧妙地分配各人浇勺里的熔融铜，使正在凝固的整个铜锭保持恒定的温度，顶部则保持熔融状态，因而铜锭在浇注完成后才完全凝固。熔融状态下的铜液表面仍是铮亮的，呈金属相，但不断从空气中溶入的氧必须用“插树还原法”（边码 83）平衡，使氧含量低于紫铜所需的含量。这种浇注技术在整个 19 世纪一直在使用，没有实质性改进。到 1850 年，用这种方法铸造出了重量约为 2 吨的铜锭，但铜锭的尺寸和形状直到 19 世纪末期也没有取得更多进展。

607

19 世纪初期，金属工匠喜欢使用含锌量为 10%—20% 的红色黄铜，不太愿意使用含锌量达 35% 的黄铜，一个重要因素是铜的硬度会随掺锌量的增加而升高，而高硬度的黄铜很难进行加工。由于当时还没有黄铜的热加工技术，况且当时的能源相对不足，铜板和其他铜锻制品的尺寸都是很小的。早在 1779 年，基尔（James Keir）就指出，往铜内掺入更大百分比的锌，就能获得一种既能进行热锻又能进行冷锻的铜合金。但在 1832 年前，还没有人对黄铜的热加工工艺进行过认真的研究。1832 年，伯明翰黄铜制造商芒茨（G. F. Muntz）取得

了含锌 40% 的铜锌合金的专利权，后来这种合金就以他的名字命名（第Ⅳ卷，边码 130）。芒茨通过制造试样对这种合金进行了深入的研究，并于 1837 年在斯旺西创办了轧制芒茨铜锌合金板的工厂。1842 年，他的工厂迁至伯明翰。

芒茨铜锌合金相对容易发生形变，因而几乎能像铜那样易于热轧成板材。不过，直到多年以后，当人们用显微镜对金属的结构进行研究时，才得到对于这种特性的解释。研究者中著名的有索比（H. C. Sorby）、罗伯茨－奥斯汀爵士（Sir W. C. Roberts-Austen）、海科克（C. T. Heycock）和内维尔（F. H. Neville）。首次对黄铜进行详细研究的是谢泼德（E. S. Shepherd）[3]。他的研究表明，含锌量约为 37% 的铜锌合金在室温下是由单一的相（α 相）组成的。含锌量达 40% 时，还存在另一个相（β 相），而在 800℃的热加工温度下，其结构全呈 β 相。全呈 β 相的铜锌合金远比 α 相的容易热加工，尽管它在冷态下较难发生形变。很快，芒茨铜锌合金（即通常所说的黄铜）便代替纯铜用作船底外壳（第Ⅳ卷，边码 130、边码 581、边码 592）。到 19 世纪末期，大量的黄铜板材纷纷出厂，用来制造小型黄铜制品。这种主要采用手工方法的小型黄铜制品制造业在印度的贝那勒斯特别繁荣，欧洲轧制的黄铜板材向那里出口的规模相当可观。

608

大约在 1824 年，德银即铜镍锌合金（因掺入镍而变白）首次在欧洲冶炼成功（中国人早就在使用这种合金），但直到 15 年后发明了电镀工艺，这种合金才具备商业价值。人们发现用陨铁炼出的大马士革钢中含有镍后，费希尔（Joham Conrad Fisher）于 1825 年在亨茨曼炼钢法中掺入了镍，以便炼出强度和弹性都得到改善的碳钢[4]。镍约在 1880 年首次进行加工，这是在弗莱特曼（Theodore Fleitmann）发现掺入少量的镁会产生韧化效应以后的事。不久，人们便炼出了含镍 10%—30% 的各种铜镍合金（白铜），这些合金都呈白色或浅色[5]。

被称为铝青铜的试样最先是由 C. 蒂西耶（C. Tissier）和 A. 蒂西耶

(A. Tissier)开发的，他们跟圣克莱尔·德维尔(Ste-Claire Deville)的合作者德布雷(H. L. Debray)同时描述了这类合金的特性。含铝量约为10%的铝青铜具有出众的机械性能、防水汽侵蚀性能和防化学侵蚀性能，这些都引起了人们的极大兴趣。1887年，为了开发海劳尔特铝电解槽而在瑞士诺伊豪森开办的瑞士冶金公司，首先提出了生产铝青铜的计划。人们认为这种材料比铝本身能提供更好的经济前景，但它的批量生产因为制造难度很大而推迟了。

锡青铜从古代起就用来铸造装饰物品，特别是铸造雕像，这是因为往铜内掺入锡之后的合金具有较低的熔点和良好的铸造性。不过，这类合金很难进行加工。含磷量约为0.1%同时含锡量达5%的磷青铜，由金策尔(C. Künzel)在1871年首先提出，而这种材料的工业应用则在两年后由蒙特菲尔-莱维(C. Montefiore-Levi)加以描述[7]。从那时起，这种合金在电气应用方面就变得极其重要。由于这种合金在冷加工状态下具有很高的抗拉强度，很适于制造弹簧和电接点。

在第一条横跨大西洋的电缆于1858年发生故障之后，最初用于电报导线和电力导线的钢丝逐渐由铜取代，尽管人们还在继续用铁和钢制造电缆，并至少一直持续到1880年。应当指出的是，在寻找更加坚固的电缆材料时，人们对韦耶(L. Weiller)1882年在法国取得专利的含硅量为2%—4%的硅青铜给予过极大的关注。硅青铜用来制作布鲁塞尔和巴黎之间的

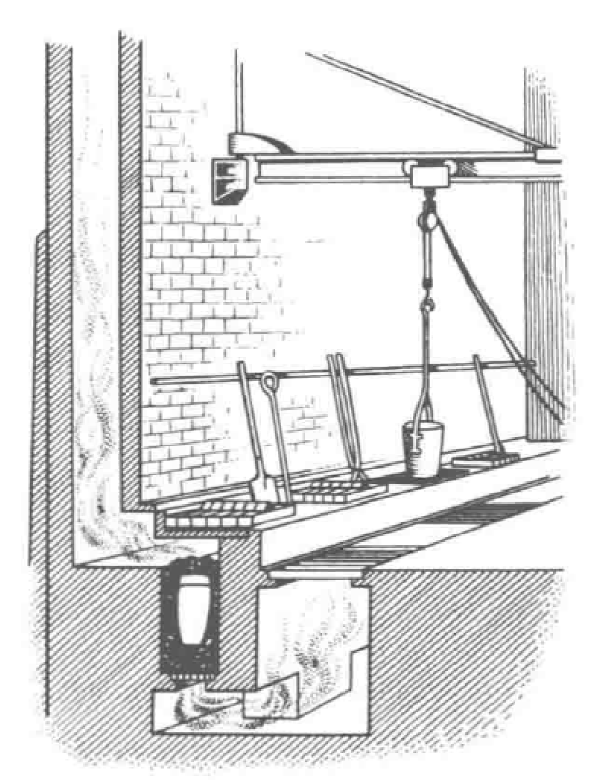


图319　熔炼铜和铜合金的焦炭坩埚炉。

电报线和电话线，并且在1889年巴黎博览会上首次用来制作与会场相连的街道照明线路用的电源电缆。

如同碳钢一样，铜、黄铜、镍铜和青铜在焦炭炉的小坩埚中熔炼。这些焦炭炉的结构几乎没有发生什么变化，一直沿用到20世纪。普通类型的焦炭炉（图319）能容纳几个容量为50—100磅的黏土坩埚，后来由于坩埚材料得到改进，坩埚的容量提高到200磅。于是，用来运送坩埚的简单滑轮组应运而生。人们往坩埚里装入各种固体金属和少量木炭条，然后把坩埚放在炽热焦炭层上，将坩埚盖盖上，在坩埚四周和顶部装入焦炭。焦炭炉的结构和尺寸能保证装入炉中的焦炭烧尽（约需1小时）时，金属达到待浇注的状态。在金属达到这样的状态之后，将坩埚夹夹在坩埚的轮缘上，并用滑车链和滑车将坩埚提出来，以备浇铸。铸模由两块铸铁组合而成，每块铸铁事先涂上油或松香，然后用环箍和楔子固定在一起。铸模安放成倾斜的待浇注位置，不过后来人们喜欢取竖直位置。用坩埚夹钳操纵的装有熔融金属的坩埚则被安放在支座上，并取倾斜的位置，以便直接把熔融金属液依次倒入各个铸模中（图320）。在浇注过程中，金属液流会被裹在由于铸模涂抹层蒸发而产生的燃烧气体层里。

610

25.2 锻造

在轧机出现之前，人们采用的是锻造（最初叫作打铁）的方法，而且只要熟铁继续被普遍使用，锻锤对金属成型来说就不可缺少。首先对从熟铁搅炼炉中取出来的呈白热状态的熟铁球进行锻造，以便锻成固体块并除掉其所夹带的液态熔渣，然后将其锻成便于随后轧制的形状。在使用蒸汽机的早期，锻锤的一端安装在固定承座上，锤头则靠凸轮或蒸汽活塞升起，然后靠重力（有时借助于弹簧的帮助）自行落下[8]。铸铁的锤头一般都很小，重约1—5英担，因此驱动的速度相当快，但出于特殊的目的也会制造一些比这大得多的锤

头。1842年开始采用的内史密斯(James Nasmyth)蒸汽锤(第Ⅳ卷，边码116)有着极其明显的进步，因为这种蒸汽锤的锤击更加有力，而且能进行很灵敏的控制。1865年，在设菲尔德使用了重达25吨的锻锤[1]。1847年，福克斯爵士(Sir Charles Fox)取得了水压锻造机的专利。1866年，在奥尔德姆的普拉特兄弟工厂建造了用于锻造酸性转炉钢的500吨级的锻造机[9]。1887年，在设菲尔德安装了一台4000吨级的水压锻造机，可锻造大得多的平炉钢锭[1]。

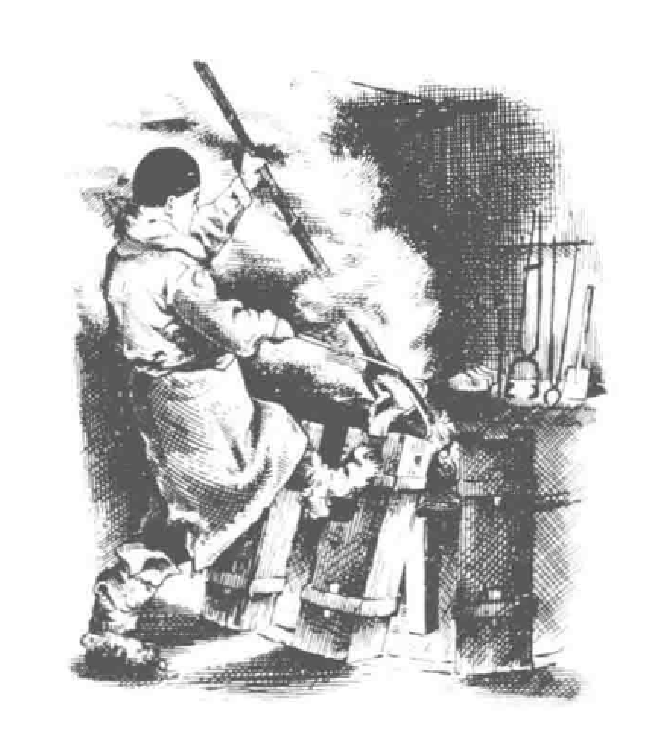


图320 在铁铸模内浇注黄铜锭。

在铜和黄铜的加工方面，由于19世纪初采用了轧制机，铜锭的锻造成型法被弃而不用，当时是用铸造方法生产所需形状的轧制毛坯的。在冶金技术这一领域里，铜工业大大领先于铁工业，所能制造的铜板尺寸要比熟铁板大得多，这种情况至少持续到1865年前后，其时装甲板开始变得重要起来。到1850年，重量超过1吨的铜板已用轧制方法制造。1873年维也纳博览会上，展出过一块重量超过2吨的铜板，厚度为0.75英寸，大小为17英尺7英寸 ×8英尺7英寸，那时的铜匠利用锻造方法来进行这类巨大铜板的最终热成型。1887年，斯旺西的制造厂家推出了由“锅、加热器、导向板、罩盖、上部零件、轴环和圆盖”组成的锻造产品，直径最大达10英尺6英寸，高度达39英寸。“圆形座”的直径达11英尺，高度达32英寸。此外，还能生产椭圆形和矩形的底座。为了成型，轧制板通常要加热到850℃，而锻造要一直持续到轧制板变冷不再形变为止，然后重新加热。局部

611

锻薄是用内史密斯蒸汽锤来进行的，但绝大部分成型活仍采用手工锻打（操作的图示见图版38A）。在进入20世纪后相当长的一段时期里，蒸汽锤锻造和手工锻造仍没有发生什么明显的变化，而且锻造件的尺寸也没有太大的增长。在以后的年代里，蒸汽机车车头锅炉的炉膛成了铜匠加工的主要对象。

25.3 轧制：棒材和型材

用轧机加工金属的想法至少可以追溯到达·芬奇时代，而且许多基本原理、主要的结构形式以及操作方法都是在18世纪和19世纪初期提出来的。但只有在19世纪发展出重工程结构所必需的机械和技术后，这些想法中的大部分方能付诸实现。整个19世纪所需要的大块可锻金属，都被制成了棒材、板材、结构工程用的型材和全世界迅速发展的铁路事业所需要的铁轨。因此，轧制机方面的最重要进展都旨在满足这些市场需求。上述所有产品在1850年都由熟铁制造，但到19世纪末期则已完全改用低碳钢，这种重大变化主要出现在1870年至1880年之间。

在加工熟铁时，首先将熟铁锻打成型，然后根据制造棒材或制造板材的要求，放在有槽轧辊或平面轧辊之间进行轧制。早期轧制铁轨用的典型轧机如图321所示。把经过锻打的棒材送入左边的槽内，然后连续地通过相邻的槽。由于轧机是二辊式的[1]，并且只能在一个方向上连续作业，加工件在每道轧制工序之间必须从轧制机的上方返回。1820年生产的首批熟铁铁轨长度为15—18英尺。第一根酸性转炉钢轨似乎是1857年在道勒斯轧制出来的[2]，而平炉钢轨是1867年在设菲尔德由布朗（John Brown）轧制出来的[1]。英国钢轨的总产量在1870年达到了顶峰，那一年出口达100多万吨，其中几乎一半向美国出口。

612

1 二辊式轧机有两个轧辊，工件通常只向一个方向移动；三辊式轧机有三个轧辊，工件可同时向两个方向移动。

2 这方面获得成功比较早，可用所使用的铁具有特殊的纯度来解释。过了好几年，酸性转炉钢产品才在市场上出现。

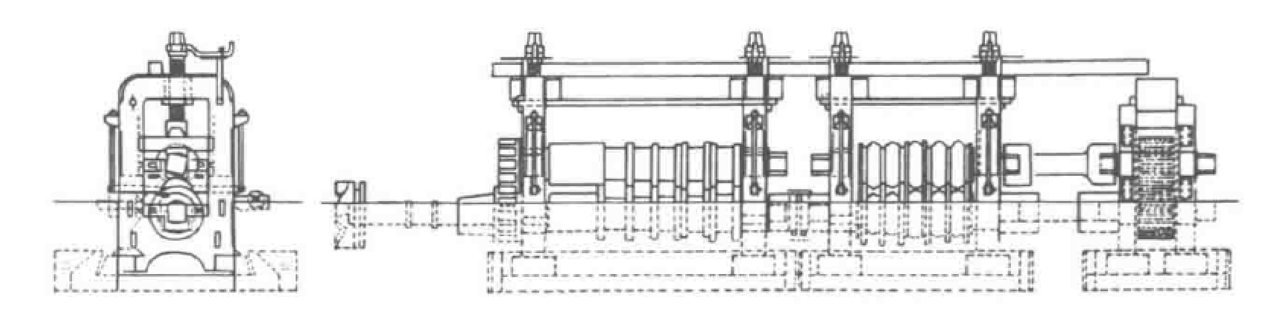


图 321　蒸汽驱动的轧制装置（端视和侧视）的立视图。道勒斯，约 1850 年。

从那以后，出口量逐渐减少，到 1877 年仅为 50 万吨，而向美国出口的仅为 300 吨。

19 世纪中期能生产多种产品的先进的轧制装置如图 322 所示。这种轧制装置有 8 个独立的轧机组，由一台蒸汽机驱动。轧机有两个直径各为 20 英尺的飞轮，所有轧机组都进行连续作业，不可能反向和停止。轧机组 A 与图 321 所示之轧辊是很相似的，它们具有二辊

图 322　埃布·维尔铁工厂（Ebbw Vale Ironworks）用于轧制钢轨的轧机（平面图），约 1850 年。

式结构，每 12 小时能轧 80 吨巨型角铁、板坯或钢轨。在轴的另一端，轧机组 B（用来轧制最高达 12 英寸、最长为 50 英尺的 H 型和 T 型型材）安装有双轧机，其工作原理如图解 F 所示。材料从右向左通过轧机下方的一对轧辊，然后通过上方的一对轧辊返回。轧机组 C 用于初轧或轧制巨大的棒材，供轧制钢轨和型材所用，它是具有三个轧辊的三辊式轧机最早期的典型设计之一。在这样的轧机中，产品首先要在下轧辊和中间轧辊之间进行轧制，然后在中间轧辊和上轧辊之间返回。轧机组 C 上还安装有一个提升巨型棒材的起重轨运器，以便使棒材返回[8]。无论是三辊式或是双轧机，都能免除材料在轧辊上头返回的这个“无效”工序，这样的工序不仅没有生产效益，而且会使金属过分冷却。一般把发明三辊式轧机的荣誉归于匹兹堡的弗里茨（John Fritz），他在 1857 年根据这个原理建造了一台比上述轧机还要大的轧制设备。

由于采用了钢锭，锻造成型的方法便日趋衰落，第一台万能轧机在 1884 年投入了生产，它可以采用铸锭，并且不用事先成型就能随意地轧制出板材或棒材，其原理就是使用有槽轧辊或竖直的轧边辊来控制宽度。这种趋势继续发展，到 20 世纪初，利用这一原理的万能轧机已相当复杂并具有巨大的功率，用于这种轧机的蒸汽机已被电动机迅速代替。由于将联合驱动改为电动机的单独驱动，轧机的灵活性大大提高了，独立的电动机分别驱动每一个轧辊、螺旋压下传动装置、辊道以及其他附属装置，这样一来，所有工序皆可在一个操作台上或操纵室里进行控制。

613

25.4 重型板材

19 世纪中期，铁匠们为了制造大型铁板不得不采用比制造铜板（图版 38B）更为复杂的方法。熟铁时期的板坯（板材轧制的最初产品）的最大重量仅为 100 磅左右，这种薄板坯完全适用于制造早期铁器商

614

人所需要的轻型板材，但不大适用于海军舰只的防弹需要。用螺栓连接或用铆接方法把好几层薄板叠合在一起的叠层板效果也不理想。1856 年，设菲尔德的公园门铁工厂（Park Gate Ironworks）用轧叠的方法制造出了厚度为 4.5 英寸的装甲板。当时的方法可以举例如下：把五条各为 30 英寸 ×12 英寸 ×1 英寸的铁条叠放在一起，轧制成一个粗板坯，再把这样做成的两块粗板坯叠起来，轧制成一块厚度为 1.25 英寸、4 英尺见方的板材；接着，把四块这样的板材叠放在一起，轧制成一块厚度为 2.5 英寸、面积为 8 英尺 ×8 英尺的板材；最后，把这样的四块大板材轧制到一起便制出了成品[2][8]。这种用熟铁制造重型装甲板的方法一直使用了 20 年。1861 年，约翰·布朗父子公司（John Brown & Sons）轧制出了厚度为 12 英寸、重量为 20 吨的板材。英国的海军大臣们观看了这一巨型铁板的轧制过程，有人对这一过程进行了生动的描写：一声号响，宣告马上要进行最后的轧制工序了，只见人们用链子和钳子把白热的金属从炉中拖出来，每个链子和钳子都需要 12 个人来操作。这种大铁锭的运送和轧制的情景可由当时的一幅画（图 323）来表现，从画中可以看到，由于当时采用的手工操作方法非常落后，所需要的强劳动力非常多[1]。尽管装甲板非常厚，但熟铁制装甲板很快被证明不足以抵挡向它发射来的炮弹。1876 年，人们采取的第一个应对措施就是在熟铁装甲板上加一层钢制衬板，将钢浇在经过部分轧制的熟铁板上，然后进一步轧制，把它们压实在一起。到 1892 年，皇家海军采用了由平炉钢浇铸成的单个钢锭轧制成的钢板。到 20 世纪初期，英国所有的重型钢板都由铸造的钢锭轧制而成。那时生产的钢板相当巨大，例如 1902 年，德国的克虏伯就使用重量达 130 吨、厚度达 3 英尺的铸锭，轧制出大小为 43 英尺 ×11 英尺 ×12 英寸的钢板。

615

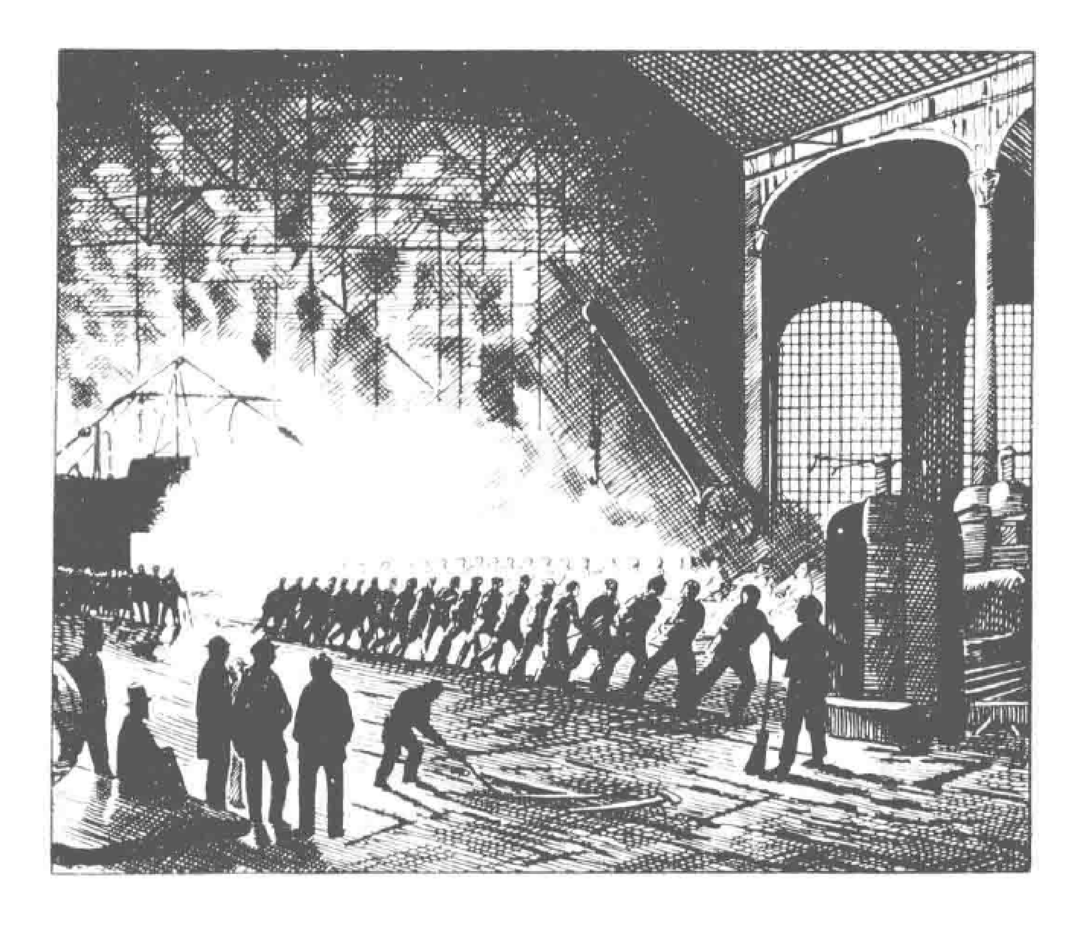


图 323 20 吨级装甲板的轧制情景，1861 年。

25.5 薄板

在 19 世纪，薄铁板或薄钢板的轧制纯粹是为了制造镀锡薄板（马口铁皮），因为锈蚀是使用不镀锡薄板的极大障碍。早在 19 世纪初，镀锡薄板工业就已经建立起来了（第Ⅳ卷，第 4 章）。据记载，当时的英国拥有 11 台轧机，大部分在南威尔士和蒙茅斯郡。到 1825 年，轧机的数目增加到 18 台，那时形成的轧制方法被沿用了 100 多年。每套轧制装置的基本组成中都有两台双辊式轧机，一台进行粗轧，另一台进行精轧——精轧能获得比较光洁的轧制表面。这种轧制装置还配有剪切机和两个或两个以上的再加热炉，典型的威尔士式轧机如图 324 所示，旁边的再加热炉没有示出。开始用的材料是约为 8 英寸宽、0.5 英寸厚的板坯，板坯的长度足以保证得到所需要的板材宽度再加上修毛边的余量，重量由 18 磅到 80 磅不等。两块板坯先在炉内用冒烟的还原火焰加热到 790℃左右，然后从炉中取出。轧辊两

616

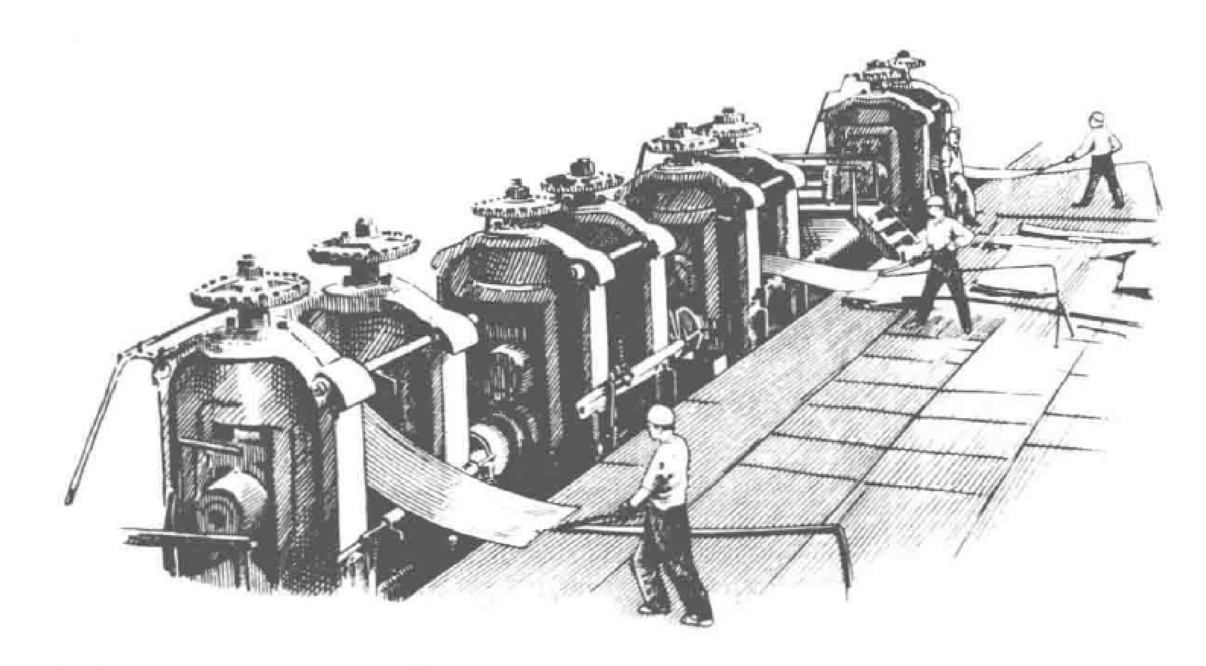


图 324 轧制镀锡薄板所用的薄板轧机。

边各安排一名操作工，喂钢工用夹钳把一块板坯送入辊缝中，当回送工将轧过的板坯从上方返回时，第二块板坯被同时送入辊缝。经过几道快速的过辊后，板坯就会沿原来的 8 英寸宽的方向延展成大致为正方形的板材。接下来，“双合”两块板材，也就是把两块板材叠放在一起重新加热，成对轧制，直至厚度减小到一半左右。这时再把两块板材分开，每块板材沿着中心线对折，再次“双合”成四层轧制。重复这个操作过程，修剪折痕，每次轧制后将叠轧的板材分开，避免形成永久性黏结，并依次把单块板材运出[10]。最后，轧制到“八层”便成材了，不过有时也进行“十二层”轧制。早在 1819 年，“十二层”轧制法就有人提出过。

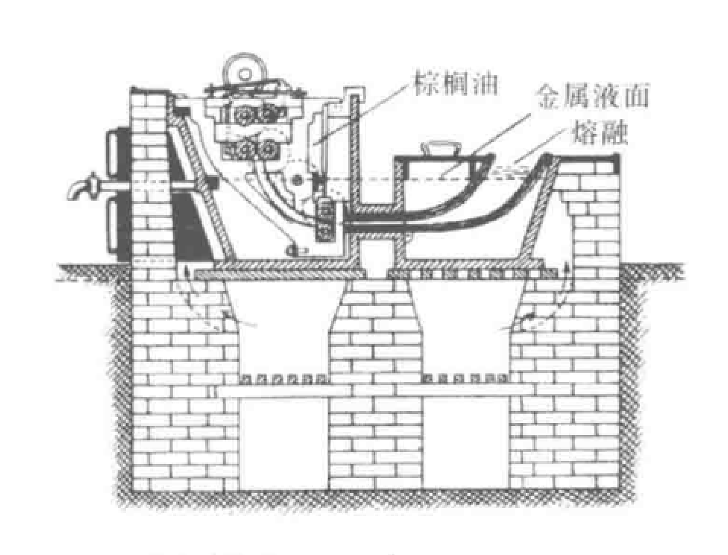


图 325 钢板镀锡机，1897 年。

经过热轧的板材要放在熟铁箱中退火 8—10 个小时，然后进行酸洗，以去除轧制和退火时因铁氧化而生成的氧化铁磷。19 世纪

初期，酸洗时使用焦木酸（边码 308），或使用出自酸啤酒及其他发酵液的稀醋酸，硫酸大约是从 1830 年起开始使用的。特吕肖（Ernest Trubshaw）在 1883 年发表的一份关于镀锡工艺的报道中描述了五道操作工序[11]。(1) 将板材浸入棕榈油中；(2) 将板材从棕榈油中取出，置于镀锡槽内浸镀约 4 分钟，进行镀锡；(3) 清洗工用刷子刷去板材表面的锡渣，并再次浸镀；(4) 将板材放入油脂槽内，使锡能均匀地滑移，用轧辊压过板材，调节锡层的厚度；(5) 用羊皮蘸麸皮擦拭板材表面，进行清洁处理。后来，由于采用了图 325 所示类型的镀锡，这一工艺大大简化了。在这种镀锡过程中，板材先穿过熔融的氯化锌焊剂层，从镀锡机右方进入熔融的锡中，通过浸没在熔融锡中的对辊挤压后穿过一层棕榈油，最后又经两套轧辊碾压，去除多余的锡。

质量最好的镀锡薄板最初是用木炭精炼炉冶炼的铁制造的，所以叫作木炭镀锡薄板。焦炭镀锡薄板用煤或焦炭搅炼炉冶炼，因含杂质硫而质量较差，硫会使镀锡层在针孔处更易被腐蚀。尽管 1880 年以后酸性转炉钢代替了铁、19 世纪结束之前平炉钢已成为普通的材料，但是木炭镀锡薄板和焦炭镀锡薄板这两个术语保留了下来，至今仍在使用。木炭镀锡薄板是质量最好的材料，最低额定镀锡层的重量为每基本箱[1]32—46 盎司，相当于锡层厚度为 0.00012—0.00017 英寸。焦炭冶炼的镀锡薄板的镀锡层的重量为每基本箱 17.7—28 盎司，这相当于每面的厚度为 0.00006—0.0001 英寸。以上两种镀锡薄板各分为三种等级[2]。

在 19 世纪的绝大部分时间里，英国在实际上垄断了镀锡薄板的生产，不仅产量迅速增长，而且大部分产品用于出口。年产量从

617

1　1820 年，一基本箱被定义为 225 张 13.75 英寸 × 10 英寸的钢板，后来又被重新定义为 56 张 28 英寸 × 20 英寸的钢板或 112 张 14 英寸 × 20 英寸的钢板，但是这三者的总面积是相同的。镀锡薄板最通用的厚度为 0.012 英寸，重量为每平方英尺 0.5 磅。因此，一基本箱通常重达约 110 磅，20 基本箱重达约 1 吨。

2　珀西（Percy）于 1880 年提出 8—8.5 磅的锡为一基本箱的镀锡层的平均重量。木炭冶炼的镀锡薄板与焦炭冶炼的镀锡薄板的区别在于铁的重量，而非锡层的厚度。

1850年的不足100万箱增加到1890年的约1400万箱，而且1890年全部产量的60%向美国出口。在此期间，镀锡薄板的价格不断下降，从1850年的每箱27先令6便士下降到1890年的每箱14先令4便士。

1890年，麦金利(Mckinley)关税规定对美国进口的每箱镀锡薄板征收近10先令的税金。此前，美国的镀锡薄板工业几乎没什么发展。在关税壁垒的保护下，美国迅速地建立起自己的镀锡薄板工业，并请来了威尔士的技术人员，而且几乎全部照搬威尔士的生产方式。到19世纪末期，美国的镀锡薄板已能自给自足，总产量直到1910年前后，才赶上英国。

从19世纪初期起，南威尔士就在从事薄铜板的热轧。据1828年的记载，供船只护板使用和印度市场销售的薄铜板的尺寸一般为4英尺 ×2—4英尺×3英尺，平均重量为每平方英尺10—32盎司，相当于0.013—0.044英寸的厚度。不过，用作船头板的长达10英尺的薄铜板也在生产。为了制造这种薄铜板，铸锭在轧制时要再加热好几次，最后的轧制一般是叠成两层轧制。除掉氧化皮的方法是用尿浸泡后再加热，然后在水中骤冷。当时很少采用酸洗法。同时期的记载表明，加工后经修剪的薄板成品的重量为原重的81%，去氧化皮和酸洗损失3.5%，剪边损失15.5%，这一点即使在今天也很难做到。

618

去氧化皮后，热轧薄板会产生不光滑的粗糙表面。为获得更佳的表面光洁度，人们在19世纪采用了冷轧法。表面光洁度对于铜和黄铜尤其重要，因为大部分铜和黄铜都用于制造珠宝饰物或电镀器皿，所以必须要有高度抛光的表面。用双辊式轧机冷轧宽度超过2英尺的铜板是很费力的，所以冷轧一般只进行到恰能达到所需的表面光洁度就行了。即使这样，使用冷轧技术的困难还是相当大。例如，辊身在冷轧的重压力下会发生轻微的弯曲，即使辊身最初具有平行的表面，在轧制铜板时也总会把边缘部分轧得比较薄，结果延伸不均衡，从而出现波纹。为了克服这个缺点，人们在制造轧辊时便特意把轧辊

的中心部分做得稍稍隆起一些。但是，轧制会产生不均匀的磨损，况且在加工过程中产生的热量会引起膨胀而影响到轧辊的轮廓。这样一来，板材尤其是事先经过热轧的板材本身，在厚度上就会发生轻微的波动。因此，热轧后的铜板送入冷的双辊式轧机轧制时，由于板材表面各不同部位延伸量的不同，铜板会出现厚度不均匀的情况。这一缺点只能靠操作者的技巧来克服，需要仔细控制使板材反复通过同一台轧机，直至板材最后具有跟轧辊相同的表面平整度，这样板材就会变得平直。要做到这一点可能需要20个甚至20多个轧制道次，这要视轧制条件而定。

伯明翰的黄铜制造商把黄铜和铜冷轧成可卷起的狭长形铜板，从而克服了平整度问题，这是轧制贵金属沿用很久的方法。铸锭的宽度为3—6英寸不等，厚度约为1.5英寸，通过狭窄的轧机进行冷轧。约经三道轧制后，铸锭的厚度能减少50%，接下来进行退火软化、酸洗，再冷轧，使厚度进一步减少50%，依次类推。使用短而重的轧辊可施加足够的压力，能比宽板轧机更有效地工作，而且还可避免由于轧辊形变而产生的许多困难，但仍需仔细地控制辊身的凸度。能否轧制出平坦而均匀的成卷带材，取决于技工的技术。技工利用与轧辊入口形状相同的木质研磨工具，定期用刚玉粉来研磨轧辊的表面以保持轧辊的凸度。卷状带材是小五金制造商所需要的，在用安装有自动进料装置的冲床加工时，采用卷状带材连续作业的时间要比用从板材切下来的小片材料长得多。

在很早以前，人们就遇到过轧辊会在载荷作用下发生弯曲的问题。619 早期最有效的解决办法就是增大轧辊的直径，但这样做的结果是轧制同样厚度的板材，驱动轧辊所需要的动力增加了。1864年，劳思(Berthard Lauth)首先指出了使用小直径的工作辊配以直径大得多的支承辊的优点，支承辊能在不提高驱动力的条件下防止挠曲。劳斯三辊式轧机有一个小直径的轧辊，还配有大直径的上轧辊和下轧辊。轧制

工件从中间轧辊和上轧辊之间送入，又从中间轧辊和下轧辊之间返回，所有轧辊都连续不断地运转。四辊式轧机是三辊式轧机合乎逻辑的发展，这种轧机的两个较小的工作辊由机身外大得多的支承辊来支承。制造四辊式轧机所涉及的技术难题非常棘手，所以，尽管三辊式轧机在19世纪时就被热轧厂和冷轧厂普遍使用，但冷轧用的宽体四辊式轧机直到进入20世纪后才真正投入使用。

在四辊式轧机设计中，人们所追求的是宽体的轧机不必重复轧制便能冷轧到很薄的厚度，就像双辊式轧机轧制单一板材那样。当时还产生了更加雄心勃勃的设想，想要利用一系列串联的轧机（每台轧机都具有很大的压延力）来生产连续的带状镀锡薄板。但是，只有对任一系列轧辊的表面轮廓和凸度都进行极其精确的控制，才能使带材表面在整个系列的轧制过程中保持平坦。

在奥地利的托普利茨，人们首次真正地在连续的轧机上进行宽带轧制的尝试。1902年，人们所描述的轧机设备的配置如图326所示。这套设备有两台共用一台1000马力发动机的三辊式轧机，可对铸锭进行初轧，还有五台串联的双辊式轧机，由另一台1000马力的发动机驱动，供精轧之用。让最大厚度为8英寸、最大重量为1000磅的

620

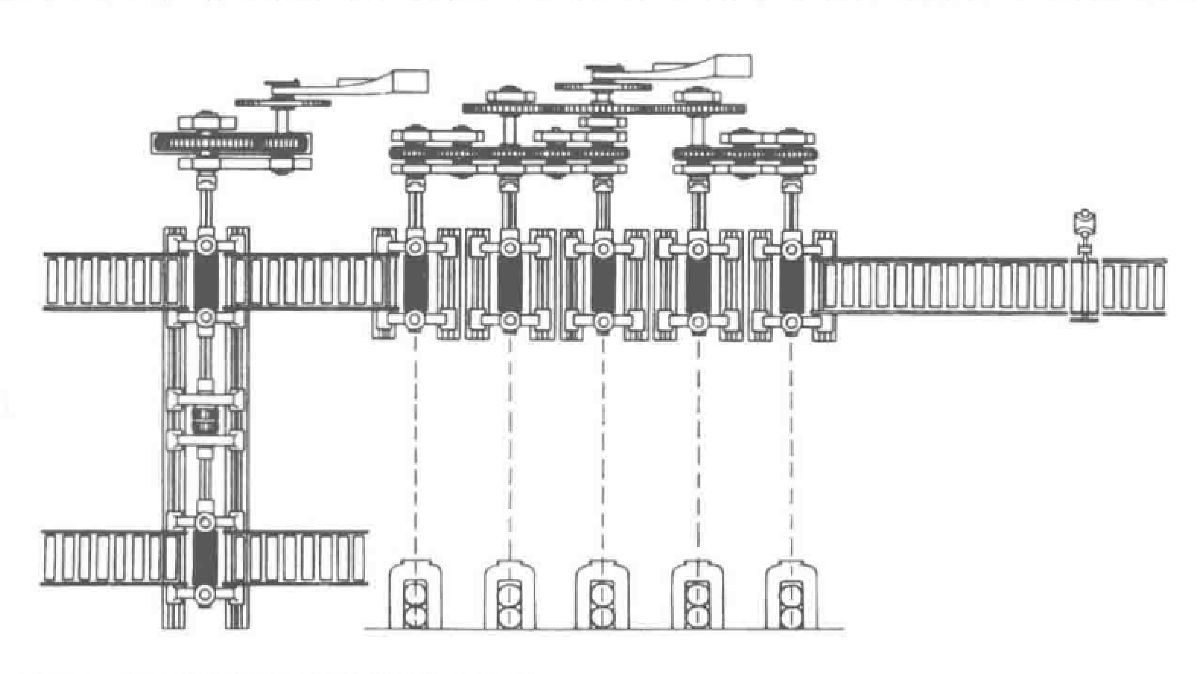


图326 奥地利的托普利茨轧机的设备配置图。

金属板坯来回通过图 326 左下方所示的三辊式轧机，初步被热轧至 3 英寸厚。经过再加热金属板坯在图 326 左上方所示的三辊式轧机上被进一步轧制到 0.3 英寸厚。然后，板坯不经重新加热就立即送入两辊式轧机组。这些轧机的轧辊尺寸为 24.625 英寸 ×59 英寸，间隔为 9 英尺。轧辊的速度通过齿轮传动装置调节到能让带材在五台轧机上同时轧制，最终出板厚度为 0.110 英寸，速度为每分钟 390 英尺。但这种轧制设备并不是很成功，因为它的速度太低，功率不足[12]，会产生各种各样的困难，例如精轧后的带材厚度超过允许误差，所以这种轧制方案在 1907 年被淘汰了。又经过 25 年的不懈努力，连续的带材 – 板材轧机才取得了完全的成功。

25.6 线材

最初制造线材的方法是把铁棒、铜棒或黄铜棒轧制成厚度约为 1/4 英寸的长而扁平的带材，然后沿纵向将其切成正方形截面的长条，通过钢拉丝模上的一系列的孔将其拉成圆形线材。为了满足某些特殊的要求，这种方法一直使用了整整一个世纪，而且至今仍在使用。但是，机械工程和电气工程的高速发展对铁线、钢线和铜线的需求量非常大，需要有更高效的生产方法。

用有槽轧辊来轧制锻造的棒材是从科特（Henry Cort）那个时候（第Ⅳ卷，边码 106）开始的，这种方法似乎到 1830 年已经确立。根据标准的熟铁加工惯例，很容易制造出每卷重量为 10—20 磅，直径为 5/16—9/32 英寸的线材。不过，那时对线材的需求量不大，对线材长度也没有过多要求，但是电报的发明突然改变了这种情况。由于对线材的迫切需要，在很短的时间内人们建立起一个完整的新行业，沃林顿就是这个行业的中心。被称为“比利时轧机列”的有槽轧辊得

621

到了普遍的采用，这些有槽轧辊上有一系列横截面不断递减的孔，其横截面从正方形依次变为菱形、椭圆形和圆形，其目的是通过截面对

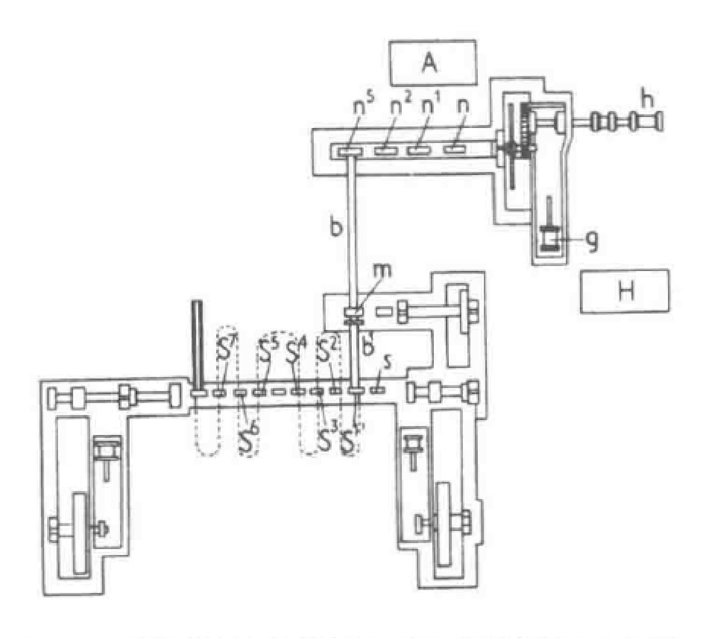


图 327　早期轧制盘条的设备（由加勒特设计）配置图。

金属进行恰当的加工。1862年，贝德森（G. Bedson）发明一种连续的轧机列并取得了专利，曼彻斯特的约翰逊兄弟公司（Johnson & Brothers）的工厂安装了这种由 16 台双辊式轧机组成的轧机组。这些轧机的轴线交替呈水平和竖直状，因而不必像老式的比利时轧机那样不时转动通过轧机的棒材。通过与轧机组相连的固定齿轮系统，能使后续轧机的旋转速度高于前面轧机的旋转速度，这样就能避免由于线材在轧制过程中伸长而产生的松弛现象。将截面为 1.0625 英寸见方、重量达 100 磅的熟铁棒送到连续式加热炉中预热，然后轧制成 0.25 英寸的线材。这种轧机每 10 小时的产量为 20 吨[13]。

后来，出现了生产率和机动性都大得多的线材轧制设备，这种设备来源于加勒特（William Garrett）的设计。从 1882 年起，加勒特同一位名叫摩根（Charles Hill Morgan）的工程师在美国建造了许多轧制设备。由加勒特设计的早期典型轧制设备平面图如图 327 所示。将 4 英寸见方的初轧毛坯放在加热炉 H 中加热，然后送到由发动机 g 带动的初轧毛坯轧机列 h 中。将所获得的 1.5 英寸见方的毛坯按长度切断，放在加热炉 A 中再加热，然后使其来回通过轧机 n 至 n^5。从轧机 n^5 开始，棒材通过一根管子 b 进入轧机 m，从而进入从 S^2 到 S^7 的轧机组中。棒材在独立的轧辊之间由充作传输装置的管道或槽传输，所以它能从一个轧辊被导向另一个轧辊，由此可省去使用早期设备时捉住线材的端头并把它转到下一个轧辊槽中的接钢工。轧机组可同时轧制一个以上的毛坯，例如使用重量为 120—180 磅的毛坯，则在 9 小时

之内可轧制约50吨直径为5/16—1/4英寸的成卷线材。除轧制用酸性转炉或平炉冶炼的低碳钢外，这种类型的轧机还可为了生产具有高延性的钢线而轧制坩埚冶炼的碳钢。到了这个阶段，熟铁差不多已经被淘汰[13]。

如前所述，对特长线材的需求源自新发明的电报的需要，当时使用的是直径为1/6英寸的铁制电缆。1850年在多佛尔和加来之间敷设的第一条海底电缆和1858年敷设的第一条横跨大西洋的海底电缆，都使用了铁制电缆（第Ⅳ卷，第22章）。此后不久，便开始使用铜丝。为了制造铜丝，使用了加勒特型轧机，并采用了轧钢的方法。制造铜丝用的棒材是用韧铜在敞开式平铸模中铸造的，横截面一般为4英寸见方。铜棒的重量为100—200磅，两端略细，便于线材进入轧辊之间。

从早期起，把金属条拉成金属丝的工序就用滑轮来进行。把金属丝绕成卷的滑轮或卷筒环绕竖直轴旋转并提供必要的拉力，以便把金属丝拉过拔丝模。从19世纪初期起，动力带动的拉丝卷筒得到了普遍的应用。一般使用钢制拉模板拉制较粗的金属丝，但拉制细的金属丝从一开始就使用由金刚石或其他宝石制造的拔丝模。铁丝要在熟铁滚筒中退火，并在酸液中进行酸洗，在19世纪后半期一般使用硫酸。早在1750年，人们就明白涂上一层石灰有助于拉铁丝，但似乎直到1860年前后，这种方法才得到普遍应用。较粗的铁丝在石灰层干了之后才进行拉制，拉制时以橄榄油或肥皂为润滑剂，但较细的铁线的拉制往往在石灰未干时。第一台多滑轮拔丝机似乎在1875年前后建造，1888年的格拉斯哥博览会展出了由配有14个拔丝模的拔丝机拉出的38号至48号（0.0092英寸至0.0016英寸）铜丝。1885年，伯奈（S. H. Byrne）提交的专利申请获准后，多功能拉丝机投入了使用（参见图328）。通过卷筒b使金属线在每一个拔丝模之间通过，最后缠绕在卷筒d上。拔丝模靠齿轮带动旋转（这个措

施本想用来防止不均匀磨损，但后来发现没必要这样做），软肥皂液不停地喷向拔丝孔口。卷筒的速度经过仔细调整以便能适应金属丝的伸长，早在1890年，最后一道拔丝模的拔线速度就已达到每分钟1000英尺[14]。

讲到钢丝的制造史，就不能不提起霍斯福尔（James Horsfall）在1854年发明的“铅淬火”法。此前的高抗拉强度钢丝用碳钢制造，并对成卷钢丝进行热处理。霍斯福尔发现，采用连续生产工艺可获得抗拉强度最高、韧性和抗扭曲性好的钢丝。他让单股的钢丝通过加热炉，接着通过淬火浴，最后通过熔融铅进行回火浴。这种生产工艺一直是保密的，直到进入20世纪许多年后仍是这样，但它的用法最终还是传播开来，后来成了标准的生产工艺。在19世纪末期，这种高抗拉强度的钢丝因用在蒸汽机犁上而被叫作犁钢丝（边码12）。高抗拉强度的钢绞线也被广泛地用于架空索道、矿山索道和桥梁上，1869—1883年在纽约建造的布鲁克林桥（边码509）便是早期使用这种细绞线的著名范例。这座悬索桥的跨度为1595英尺，每根钢索都由6400根抗拉强度达“100吨”的钢丝绞合而成。制作乐器也需要大量钢丝，

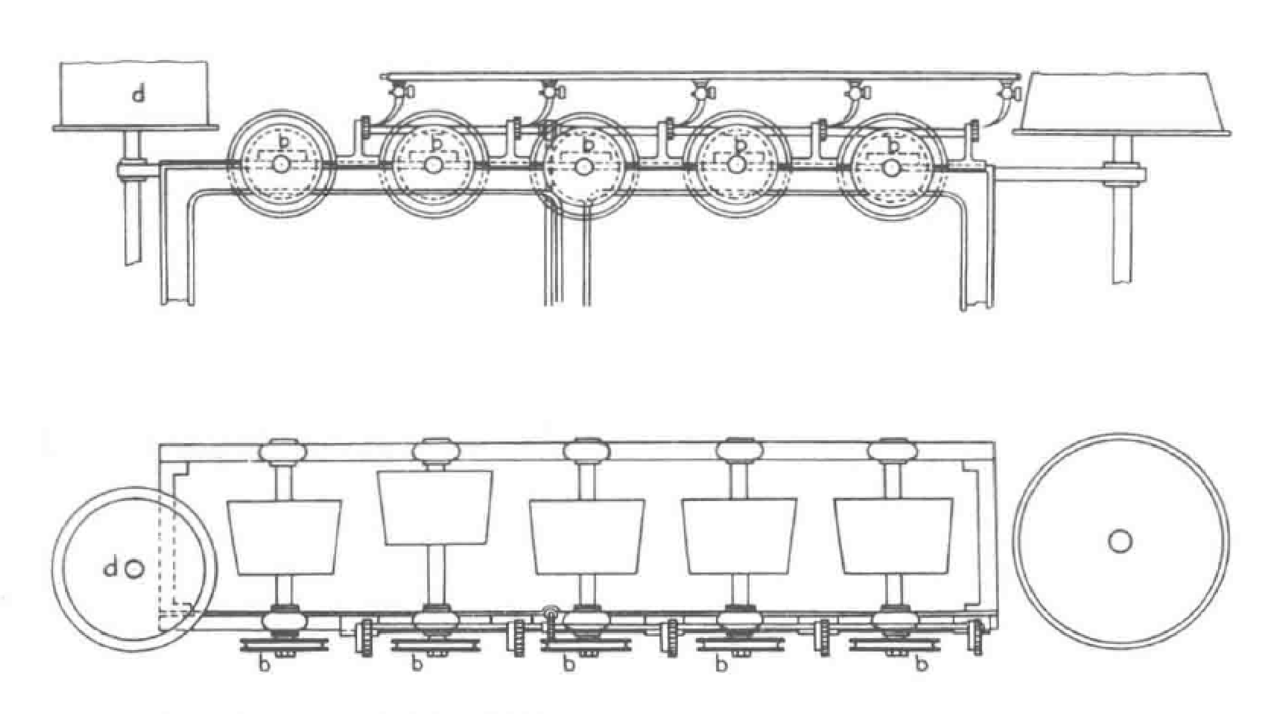


图328　早期的连续拔丝机。金属通过卷筒组b由右向左运动，最后缠卷在卷筒d上。

能保持琴弦张力不走调的高抗拉强度钢琴钢丝拥有非常可观的市场且售价很高，因此在英国制造商和欧洲大陆国家制造商之间形成了激烈的竞争[14]。

许多重要的辅助性行业都以使用和操控金属丝为基础。19世纪初期的小钉子是用板材剪切而成的，按钉子长度将板材切割成所需宽度，然后送入一个小角度的剪切装置中，每次剪切后都使板材翻转过来，长方形截面的尖头钉子则是用另一种机器制作。铁钉用于细木工作业，铜钉用来把护板钉在船底上。在19世纪末期以前，用低碳钢丝作为原料的制钉机每分钟能够生产300枚钉子，切割和轧尖同时进行，制钉头则是在产品弹出时进行的[14]。

624

大头针一般用黄铜丝制作。在英国，这个行业起源于斯特劳德，后来伯明翰成了这个行业的中心。史密斯（Bucknall Smith）在1891年指出，当时大头针的日产量为5000万枚，普通大头针的批发价为每磅1先令3便士到3先令，每磅平均有1.6万枚[14]。在那个时期，制造缝纫针的机器也同样取得了进展。针是成对制造的，金属丝的两端同时轧尖，并在中心冲出两个针眼来，再把金属丝对半切成两段，把断面磨光滑后进行淬火和回火，最后进行清理、磨光和抛光。缝纫针的批发价为每千枚1—5先令。

在19世纪末期，制造伞骨架也成了钢丝的一个重要用途，人们为此拉制了特殊的有槽面的钢丝。设菲尔德的福克斯公司（Fox & Company）从事从钢锭到精加工伞骨架的全部制造工作，伞骨架的重量介于5盎司和6盎司之间。到19世纪末期，这个行业已颇具规模。

这里还必须提一下制造编织钢丝产品的许多设计新颖的机器。在1862年用贝德森轧机首次大量生产钢丝之后的25年内，这些机器被发明出来并得以完善。编织钢丝产品包括钢丝网、栅栏、钢丝垫和多股钢丝绳。

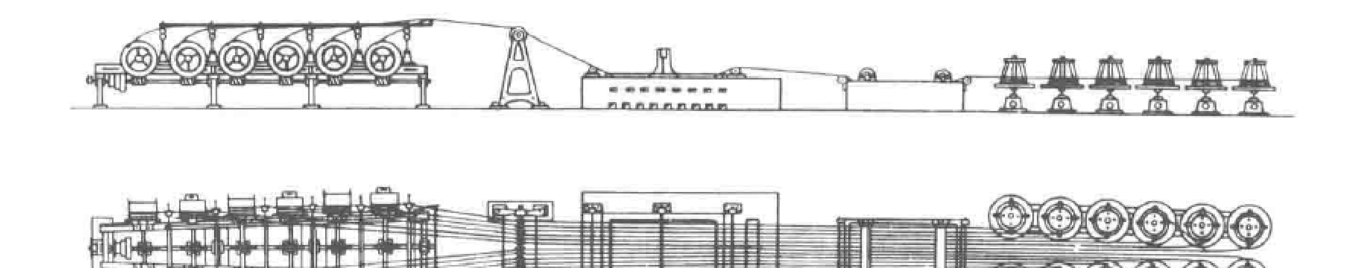


图 329 金属丝连续镀锌设备的立面图和平面图，约 1880 年。采用机械驱动的卷取机构（左）把金属丝从线卷（右）中拉出来，使之通过酸槽（右中）和镀锌槽（左中）。

25.7 镀锌

早在 18 世纪下半叶就有铁上镀锌的记载，但镀锌的生产工艺始于索雷尔（M.Sorel）在 1836 年所发明的实用镀锌法，具体步骤是对铁进行酸洗，取出后涂上氯化铵助熔剂，然后放入熔融的锌中进行浸镀。从法拉第研究伏打电流时起，人们就知道锌对铁有保护作用，后来在户外实际使用镀锌铁所获得的成功，使得这一产业从 1840 年起得到了迅猛发展。镀锌的最早用途之一是制造镀锌波形钢板。1844 年，西布拉威奇的斯潘塞（John Spencer）发明了轧制波形钢板的轧辊。不久，镀锌波形钢板便开始大量生产，在全球各地用于建造房顶。用成捆或成卷的金属丝浸在熔融锌中进行镀锌，这是和电报的发明同时出现的。1860 年，贝德森（George Bedson）发明了一种钢丝、铁丝连续退火和镀锌的机器，单股金属丝连续地通过退火炉和酸洗液之后进入熔融的液态锌中进行镀锌，最后缠绕在卷筒上。能阐明工作原理的 19 世纪 80 年代典型的镀锌装置如图 329 所示。后来各种户外用的钢丝也都进行镀锌，例如用于架空索道、悬索桥的牵索和钢丝栅栏。

在 19 世纪末期，制造栅栏用镀锌铁丝成了一个盛行的行业，制造的现代方法（包括靠棘轮拉紧的镀锌铁丝绞线的使用）则是约在 1880 年前后确立起来的。带刺铁丝约在同一时期被引入美国，而它在欧洲被普遍接受的时间要晚得多。英国和德国的铁丝制造厂向海外殖民地和南美洲出口了大量家畜护栏用的标准铁丝绞线和带刺铁丝。

25.8 管材

19 世纪初期，铁管主要是用轧制成窄带材的熟铁制造的。贴着芯棒沿宽度把带材弯曲合拢卷起，并留出适当的搭接量，然后趁热锻打接合处，把搭接部分锻接在一起。铜管也是用类似的方法制造的——或采用搭接法，或采用嵌接法，然后用黄铜把接缝焊死（以硼砂为焊剂）。铁管和铜管都常用拉过管模的方法来统一外径尺寸，但不使用内部顶头或芯棒，因此不能明显地减小管壁的厚度。

有缝铅管在此之前就不再制造了。无缝铅管出现在 19 世纪初期，通过把铅浇注在带有钢棒型芯的铸模里来制造。用铸入铅管中的钢型芯做成轧辊辗压铅管或是把铅管拉出来，这个方法来源于威尔金森（James Wilkinson）在 1790 年所取得的一项专利。1838 年，格林（Charles Green）取得一项根据类似原理制造黄铜管和铜管的专利，但其中有许多新的特点[15]。格林提出沿着在多孔铁管上形成的砂芯铸造空心管坯，使用这种砂芯时要利用铸铁制的部分圆筒形铸模，铸造时铸模要处于竖直位置。图 330 示出的制管方法取自格林在 1841 年取得的专利，包括芯棒（a）、芯轴（b）和空心铸造管坯（c）。[16] 如图所示，在空心铸件的一端有一个凸缘，以便与芯轴的台肩相配合，管子是从链传动的拔管机上取下来的。应当指出的是，拉模规定要用熟铁制造并“在穿过拉模的孔中焊上一层钢衬层”。随后，管子要被拉过一系

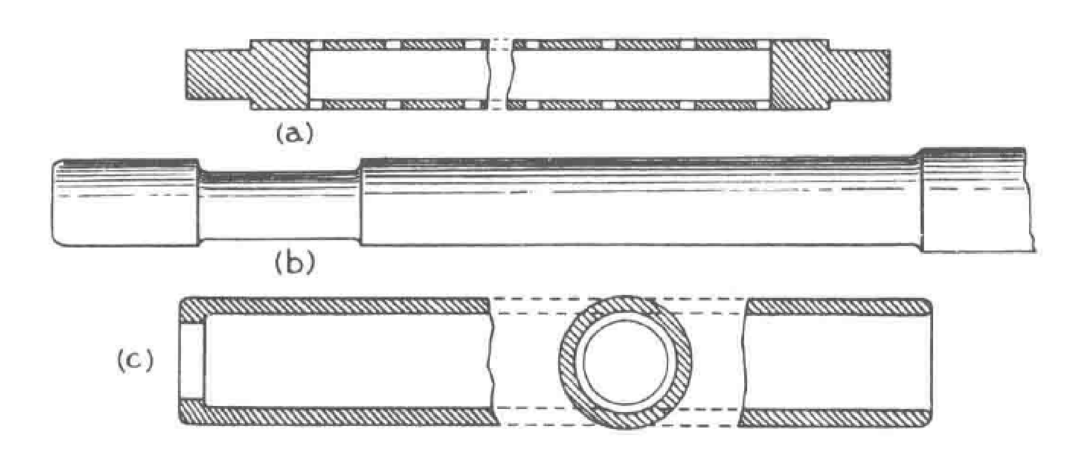


图 330　格林获得的整体拉制管专利。

列直径递减的拉模。为了进行退火，管子必须从芯轴上取下来，然后返回去进行下一步拉制。芯轴的两端各有一个如图所示形状的连接处来连接牵引齿轮，这样通过在拔管机上使芯轴和管子反向，管子就能在经过一个哑拉模时与芯轴脱离开。最后，对管子进行退火和酸洗，以备使用。格林在10年后得到的另一项专利（1851年）中提出，管子在经过最后一道拉制工序之后应该处于硬化状态，只需在无缝管两端进行退火，便能进入管模中[17]。

尽管有些厂家喜欢使用由有槽轧辊在芯轴上轧制铸造的管坯，但格林的制管方法得到了伯明翰制管厂家的广泛采用，拔管机则仅用于精整。后来，轧制或拔制铸造管坯成为用黄铜和其他合金制造蒸汽机冷凝管的主要方法，而且一直使用了半个多世纪。原专利的双端芯轴等许多特征成了实际应用中的标准件。格林制造管子的方法颇适于制造细小、薄壁的管子，例如直径为0.5—1英寸、壁厚为0.040—0.080英寸的管子，制造蒸汽冷凝管就需要大量这种规格的管子。格林提出，应把这种方法用来制造纺织业上的印花辊筒，这种辊筒的直径一般为4—6英寸，壁厚在1英寸以上。但这显然要配备超大型的拔管机，在当时根本无法做到。

627

挤压法是源于19世纪的制造管材的第二重要的方法，它也来源于铅管的生产实践。用液压将铅从环状喷嘴中挤出而制成管子的建议是由布拉默（Joseph

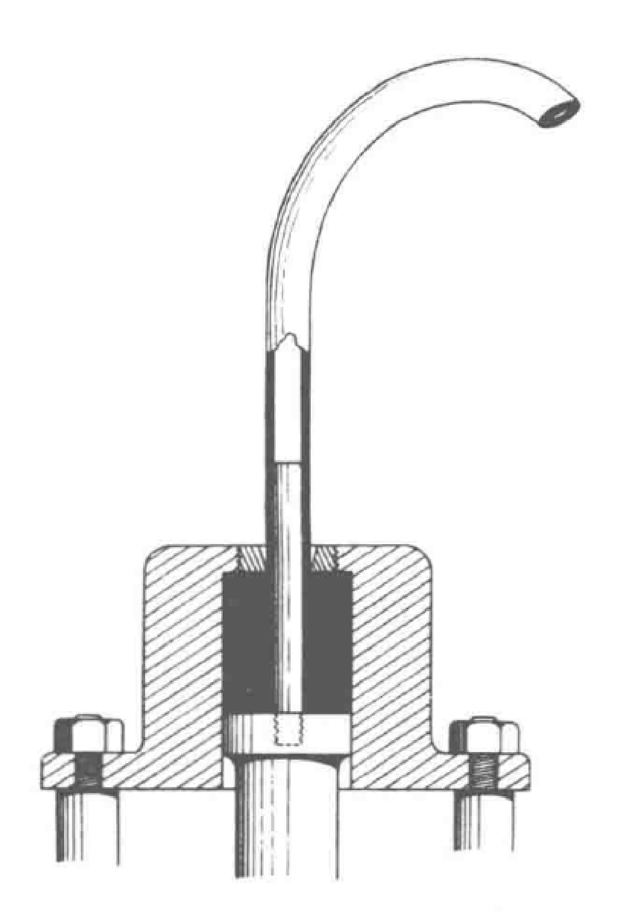


图331　挤压铅管成型的伯尔挤压机（剖面图），1820年。

Bramah）在 1797 年提出的，但根据这一原理制作的第一台实用的机器则由什鲁斯伯里的管匠伯尔（Thomas Burr）在 1820 年完成并投入使用。伯尔挤压机的结构如图 331 所示。圆筒形容器下端被液压机活塞上端密封，在活塞上端固定着一根圆形短杆用作芯轴。当活塞处于下方的位置时，可把铅注入芯轴周围的环形空间里。待铅凝固之后，用螺栓把模子定位并施加压力，在芯轴和模子之间便会挤压出连续不断的铅管。后来，人们对这种简单的机器进行了许多改进，其中具有特殊意义的是在电缆外压上铅材外鞘，既可保护电缆免受损伤，又具有不透水性。1879 年，巴雷尔（Barel）在法国设计出一台用于此目的的挤压机，此后很快又出现了设计思想大体相似的其他挤压机。图 332 的是得到普遍采用的挤压机竖立时的剖面图。把铅注入容器，冷凝后用下降的活塞进行挤压，于是铅沿电缆四周（在图中，电缆是从左向右通过机器的）涌动，形成连续的保护层。两股铅流在 200℃—250℃温度下熔接在一起，并在此温度下完成挤压[18]。

628 为了使挤压技术适用于铜和铜合金，人们曾进行过许多努力，但使用的设备往往经受不住挤压这些高熔点材料所要求的高温和高压。布劳顿铜公司（Broughton Copper Company）在 1893 年首次采用挤压法进行铜管和铜圆筒的工业生产，这种挤压机的结构如图 333 所示。把铜坯分别加热到 850℃左右，然后放入立式的容器中，液压活塞下压，强行挤入坯的中心，铜沿容器壁上涌，形成空心短圆筒。将圆筒从容器中取出，锯掉底部，按要求的尺寸对管壳进行机械加工或冷加工。这种方法特别适用于制造非常大的铜管，也比格林法更适于制造铜质印花辊筒。随

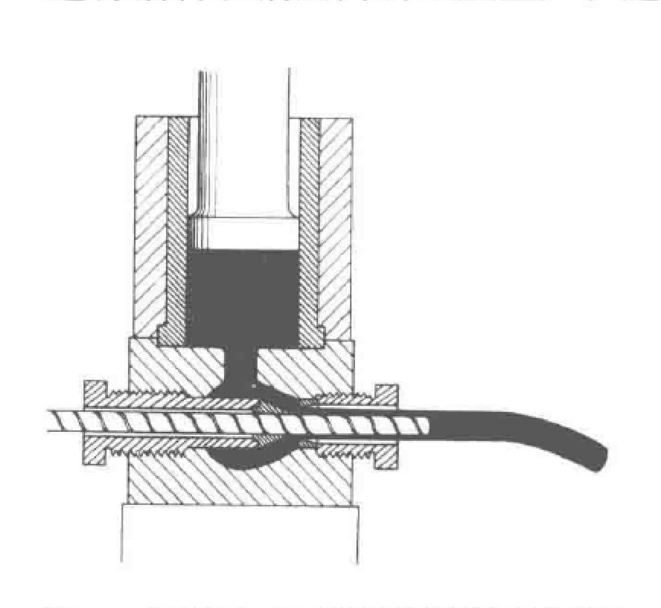


图 332 将铅挤压成电缆外鞘的挤压机（剖面图）。

着兰开夏印花棉织品制造业的发展，印花辊筒的需求量大为增加。

1902 年，埃弗里特（Everitt）对上述方法做了很大改进（图 334）。他提出采用卧式容器 a，容器较宽的一端敞开，以便放入管坯 b，容器另一端的狭窄开口由带有短衬套的副液压活塞封严，由定心板 n 导引的穿芯杆 m 几乎被推压到管坯的底部。在最后一刻，衬套 c 被撤回，以便让穿芯杆直穿过去，这样便制造出完整的圆筒。这种方法节省了在原方法中形成底部的那部分材料[19]。

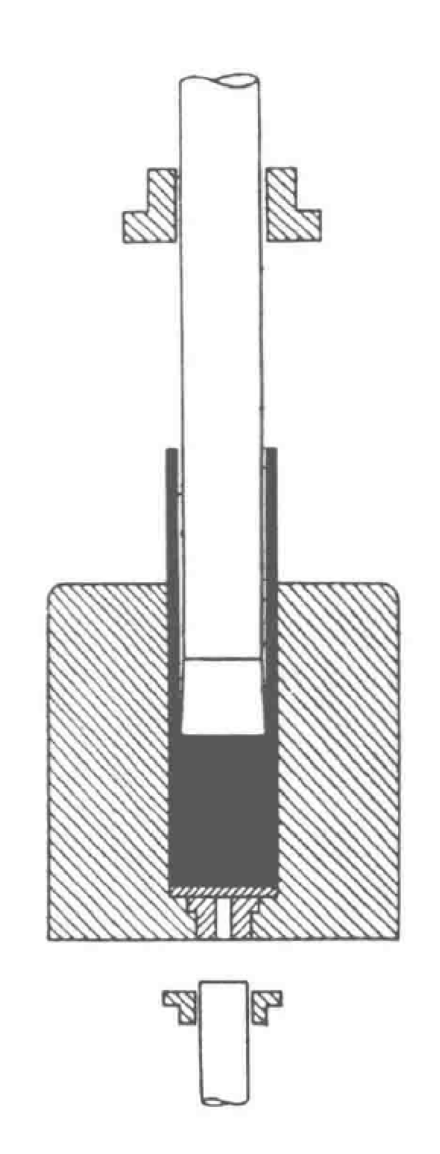


图 333　制造有封闭端的铜管坯的立式压制机（剖面图）。

铜合金挤压法的进一步应用是在 19 世纪 90 年代迪克（Alexander Dick）的新发明问世后。迪克新发明的要点是容纳热管坯的容器、模座和主液压活塞都是液压机上分别装配的部件，因此它们可互不关联地单独移动。这些发明带来操作上的灵活性，使人们能把铜和多种铜合金很容易地挤压成各种各样的产品。其中有些产品——例如管壳，形成了小型管冷拔的基础，并且取代了格林法中的铸造固体管坯。其他的产品则都是成品，例如各种尺寸的棒材和型材。但若要讨论这些工艺的发展史，难免会超出本文涉及的历史时期。

629

无缝钢管的生产靠的是曼尼斯曼兄弟（Max and Reinhard Mannesmann）于 1885 年提出的一种全新原理（边码 63）。在这种工艺中，热管坯放在两个转动的辊子间，辊子在一个方向上对管坯产生压力，而在另一个方向上产生拉力，两个逆向的拉力会使管坯从中央断裂。辊子的作用力迫使热管坯向前运动，插入一根固定的穿通杆将管坯穿透，从而

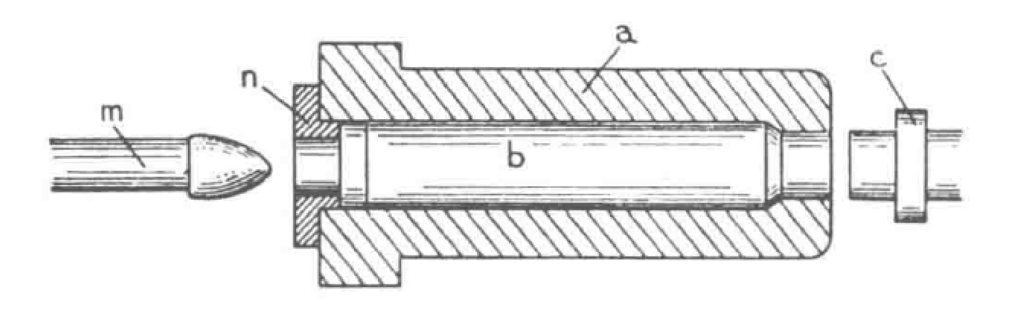


图 334　制造管壳的卧式挤压机（剖面图）。

形成管子，管子的直径和壁厚可以在相当大的范围内进行选择。曼尼斯曼工艺是由斯旺西的兰道西门子钢铁公司（The Landore Siemens Steel Company）在 1887 年首先采用的。这家无缝钢管厂拥有 6 台曼尼斯曼机，其中最大的一台能够穿透直径达 10 英寸的实心管坯[20]。曼尼斯曼机生产出的毛坯管，还要送进皮尔格轧机进行轧制。1891 年，一项由马克思·曼尼斯曼发明的工艺获得了英国专利。他的工艺借鉴了德国的早期方法，无缝钢管利用有槽轧辊在钢芯轴上热轧出来，有槽轧辊的直径根据凸轮的状况而调整。在压缩阶段，管子由轧辊驱动向前运动，致动机构转动并将管子回送一小段距离，这就使得管子有节奏地进行小段前移。兰道西门子钢铁公司把无缝钢管主要生产厂家的地位几乎一直保持到了 19 世纪末期。其间，在兰道出生的工程师施蒂费尔（Stiefel）在俄亥俄州扬斯敦设计和创建的一家工厂，成为世界上主要的无缝钢管制造厂[20]。

25.9　弹壳的深拉拔

630

我们已经看到，由于在 1865—1890 年这段时间生产出大批质量高、匀度好的低成本冷拔丝材，许多新兴产业涌现出来。冷轧板材和冷轧带材有着相似的历史，不过在同一时期内，它们的发展比较受限。用这些材料制造装饰性黄铜制品、纽扣、扣环、硬币等小制品以及其他典型的伯明翰小商品，仅需对已有机器进行开发和改进，而不用投入杰出的新技术。深拉拔产品的制造是值得一提的，因为它在发展陆

军的常规武器——步枪中起着重要的里程碑式作用。

19 世纪上半叶，后装弹式步枪取代了前装弹式步枪，并且发明了把雷管、火药和子弹头装在一起的纸壳弹。这一发明在军事方面的意义是非常深远的。但是，在已有的系统下，这种弹壳很容易受气候和战斗的严酷条件的影响，而开火时产生的气体的气密性能取决于后装弹式步枪枪栓结构的精确度。

伍尔维奇皇家实验室的博克瑟(E. M. Boxer)发明了第一个金属弹壳，炸药帽位于尾部，子弹头则封住了弹壳前端。这种弹壳的尾部是铁制的，弹壳壁则用细黄铜丝绕制而成。1869 年，博克瑟的子弹壳被英国陆军选中，用在马蒂尼－亨利(Martini-Henry)步枪上。与博克瑟在伍尔维奇进行研究的同时，基纳克(George Kynoch)制成了一种整体控制的黄铜子弹壳，并为其他国家生产了好几百万个。然而，英国政府并未采用基纳克的子弹壳，却对博克瑟的子弹壳情

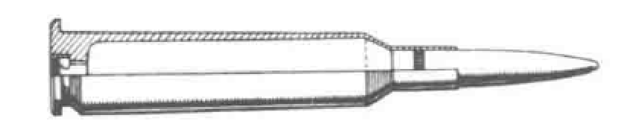


图 335 金属子弹壳，图中显示了其构造。

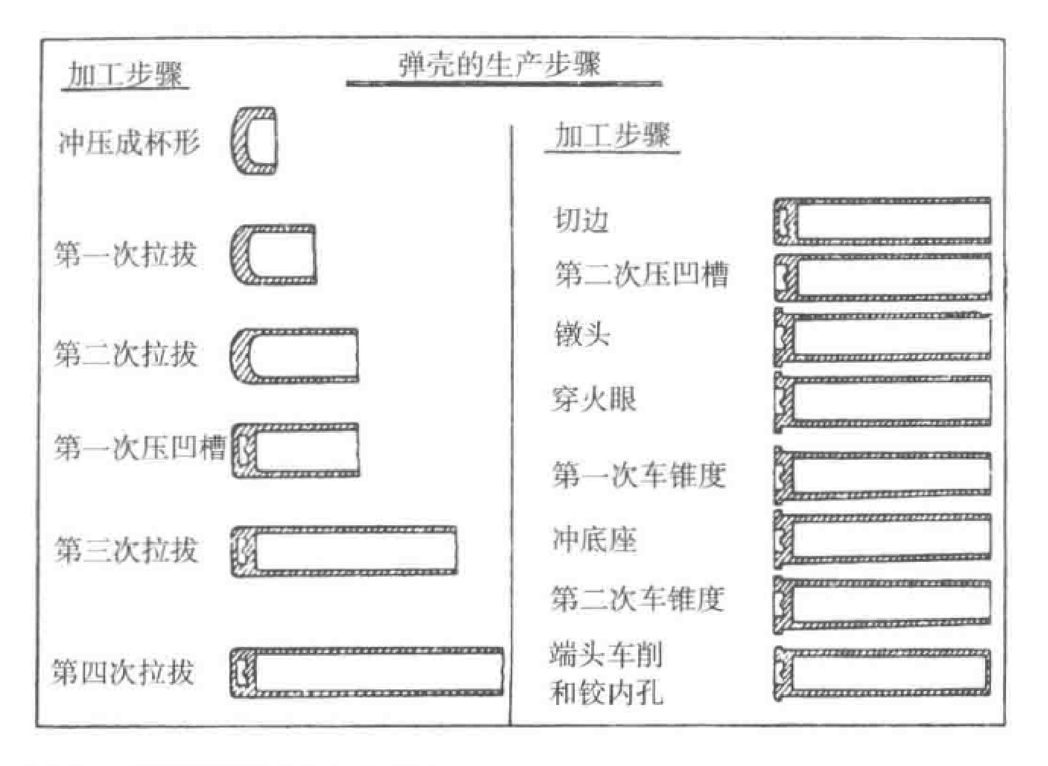


图 336 整体控制弹壳的生产步骤。

有独钟。在1882年的苏丹战争中，由于卷丝子弹壳常常发生卡壳现象，这才放弃使用博克瑟子弹壳[21]。

基纳克整体控制的子弹壳的早期设计和结构基本上与今天的相同。步枪子弹壳的元件装配如图335所示，制造子弹壳的各步骤则如图336所示。采用的原材料是厚度约为0.14英寸的黄铜带材，第一步先在黄铜带上冲压出一个小碟并加工成浅杯形，在此过程中要使用一台往复式曲轴冲床。剪切小碟的工具是独立于冲床之外的，随后冲床把剪下的碟片推过拉模板，制成杯形毛坯。在退火软化金属、酸洗除掉氧化皮后，使用较小的冲床和拉模在自动进料的机器上对杯形毛坯做进一步的拉拔。拉拔过程就这样继续下去：退火——酸洗——进一步拉拔。但是，从第四道起，不需要再退火了，子弹壳经过一定程度的冷加工，具有足够的强度和弹性，能够经受炸药的爆炸力而不发生形变。与弹壳一样，子弹头也由铜镍合金或铜锌合金的薄坯料用类似方法制成。从杯形毛坯起，在随后的各道工序中把壳壁拉拔出来，最后把子弹壳内部的钢芯或铅芯倒出来。

631

基纳克所发明的这种子弹壳制造工艺使生产能力达到了很高的程度，以致在波尔战争中竟能每周生产并装配出两百万发完整的子弹。这种先冲压成杯形再拉拔延伸的工艺，后来成为生产黄铜和铜制小管件的重要方法，同时也是制造所有类型的小薄壁管的最经济的方法。这样，它就补充了用于生产大型产品的冲孔法、挤压法和拉拔法。

25.10 焊接

尽管气焊和电弧焊这两种主要的焊接方法早在19世纪就开始采用，但是直到19世纪90年代，它们才对金属的制造过程产生影响。

用含铜量约为50%的黄铜进行的铜焊（用硼砂作为焊剂），一直是连接铜的常用方法。黄铜中的锌会在焊接过程中有所挥发，用这种方法焊接的接头的含铜量一般为60%。然而，银焊料在连接贵金属

方面得到了更加普遍的应用，它曾是许多世纪里贵金属工匠们精心保守的秘密。有意思的是，1865年敷设的穿越大西洋的海底电缆（这是第一次使用铜制电缆）就是用铜银锌合金进行银焊的[22]。

1885年，冯·贝纳尔多斯（Niloas von Benardos）发明了碳电弧焊[23]。发电机的一个极接到待焊接的零件上，另一个极则接到碳棒上，两个电极之间产生的电弧使铁或钢局部熔化。用钢丝作填补材料，填补材料的顶端按照需要被引入电弧中去。此后不久，便用钢条来代替碳棒，钢条本身就熔化成焊缝的填补材料。在19世纪90年代，电弧焊仅限于用来连接小的工程组合件和装饰性铁件。几乎在同时，人们还发明了对头焊接法（当棒的两端达到足够的温度时，在两端之间便触发电弧，然后在压力作用下把两端连接在一起），但这种焊接方法甚至到了19世纪末期也没得到什么应用。这种焊接方法的重要性仅仅在于它能把待拉制的轧制棒材一节节地连接起来，以便使拉丝过程能够连续进行[24]。

继布林（Brin）在1880年发明商业用氧的制造方法之后，沃灵顿的弗莱彻（Thomas Fletcher）在1887年设计出一种使用氧和氢（或煤气）混合物的焊炬装置。他演示了这种火焰可用来熔化金属和切割钢材，但这种方法在首次使用时就显得不安全！直到20世纪初能够大量地供应乙炔时，这种焊炬才在焊接上得到了广泛的应用[24]。

25.11 镀覆金属

金银加工始终是一个重要行业，而且是一个总能很快采纳新方法的行业。事实上，许多金属加工方法，例如冷带材轧制和在拉丝机上拉制金属丝，大概都是来源于贵金属所采用的方法（第Ⅲ卷，第2章）。金匠和银匠都很明白，由于金银的昂贵价格，金银饰品的市场是有限的，便发明了镀金这种办法减少贵金属用量。

贴金是一种非常古老的方法。仔细地在金属制品上镀上锡，并用

同样的方法在切割成所需尺寸的银箔的一面或两面也镀上一层锡，然后把基体金属制品和银箔焊接在一起，再用刮刀和锉刀除掉多余的锡。由博尔索弗（Thomas Bolsover）在1743年首创的老式的设菲尔德板，就是在铜板的一面或两面贴上一层纯银制成的，其制造方法是把仔细清理干净的铜板和银板轧制在一起（第Ⅳ卷，边码130）。但这种材料也很昂贵，这种方法之所以成功，是因为历史上至少有一段时期对纯银制品课以消费税[25]。

633

从很古老的时代起，在基体金属（较常用的是银）上镀上一薄层金的火焰镀金法就开始采用了。首先把零件清理干净，然后放入硝酸汞和硝酸的溶液中，给器件镀上一薄层汞，接着用装在多孔织物袋内呈稠膏状的金和汞的混合物来摩擦器件的表面，直至在器件表面涂上一层平滑的膏状混合物。最后，用炭火给器件加热，除掉汞，并对存留在器件表面的金抛光。

在基体金属上镀金和镀银的电解沉积工艺由G. R. 埃尔金顿（George Richards Elkington）和H. 埃尔金顿（Henry Elkington）发明，并在1840年取得该项专利。这一专利建议把金和银或其氧化物溶解在氰化钾或氰化钠溶液中，然后用这种电解液进行电镀。待电镀器件除去油脂和氧化皮后浸入电解液中，用金属锌棒或其他正电性金属棒来传送电流。该金属棒要单独的液体或者浸在用多孔隔板与金溶液或银溶液分隔开的电解液中，里面不时地添加氧化银，以维持银的一定浓度。该专利提出，铜、黄铜和德国银都是最适于电镀的金属[26]。

埃尔金顿兄弟公司的雇员博蒙特（Henry Beaumont）提出另外430种可用于电镀的银盐，并在1842年获得了电镀工艺上的第二项专利。同年，伍尔里奇（John Stenhen Woorlich）获得了使用永磁发电机的专利（边码183），他使用的电镀液是可溶解的银和钾的硫酸复盐。埃尔金顿兄弟公司在1843年首次获得了特许证，但似乎是伯明翰的普赖姆（Thomas Prime）首先按照伍尔里奇的工艺使用永磁发电机进行

了商业化电镀。著名的冶金学家珀西博士宣称，他在 1845 年曾陪同法拉第本人参观了普赖姆的工厂[27]。后来，埃尔金顿兄弟公司买下伍尔里奇的专利，向所有使用该专利工艺的工厂征收最低额为 150 英镑的专利使用费。尽管如此，电镀还是迅速地取代了老式的设菲尔德贴金属法。据老式的设菲尔德贴金属法方面的权威布拉德伯里（Bradbury）说，在《1852 年设菲尔德工商名录》（*Sheffield directory of 1852*）中，5 年前从事老式的贴金属行当的许多人中只余下一位了[25]。

634

镀金和镀银对于 19 世纪后期的首饰行业产生了巨大的影响。镀银制品如匙、叉、茶壶、缸和调味品瓶的生产量是很大的，它们都是用黄铜或德国银制作的。这些产品大部分模仿了纯银货币和老式的设菲尔德板的设计。镀金首饰例如胸针、项链、纽扣和饰针的生产发展很快，而且覆盖面空前地宽，这使得英国在其后的 25 年内在这个领域里实质上处于垄断地位，生产出来的产品出口世界各地。然而到 1890 年，许多国家用关税保护的政策排斥英国货。到 19 世纪末期，德国成了主要的生产国。

相关文献

[1] '100 Years in Steel.' Thomas Firth & John Brown, Sheffield. 1937.

[2] Cookson, H. E. *Proc. Staf* fs. Iron St. Inst., 49, 1–47, 1933–1934.

[3] Shepherd, E. S. *J. phys. Chem.*, 8, 421–35, 1904.

[4] Schib, K. and Onade, R. 'Johann Conrad Fischer, 1773–1854.' Fischer, Schaffhausen. 1954.

[5] Mackay, A. *Bull. Instn Metall.*, 3, 15–27, 1951.

[6] Debray, H. L. *C. R. Acad. Sci., Paris*, 43, 925–7, 1856.

[7] Montefiore-Levi, C. *J. Iron St. Inst.*, 7, 408–13, 1873.

[8] Percy, J. 'Metallurgy: Iron and Steel.' London. 1880.

[9] *Engineering*, 1, 384, 1866.

[10] Hoare, W. E. *Bull. Instn Metall.*, 3, 4–26, March 1951.

[11] Trubshaw, E. *J, Iron St. Inst.*, 22, 252–60, 1883.

[12] "Austrian Continuous Sheet Mill." *Iron Age*, 70, 20, 1902.

[13] Bedson, J. P. *J. Irom St. Inst.*44, 77–93, 1893.

[14] Smith, J. B. 'A Treatise upon Wire, its Manufacture and Uses.' Offices of *Engineering*, London. 1891.

[15] British Patent No. 7707. 1838.

[16] British Patent No. 8838. 1841.

[17] British Patent No. 13, 752. 1851.

[18] Pearson, C. E. *Trans. Newcomen Soc.*, 21, 109–22, 1940.

[19] British Patent No. 4132. 1902.

[20] Evans, G. 'Manufacture of Seamless Tubes, Ferrous and Non-Ferrous.' Witherby, London. 1934.

[21] 'Textbook of Small Arms.' H. M. Stationery Office, London. 1929.

[22] Brooker, H. R. and Beatson, E. V. 'Industrial Brazing.' Iliffe, London. 1953.

[23] Rühlmann, R. *Z. Ver. disch. Ing.*, 31, 863–7, 1887.

[24] Fox, F. A. and Hipperson, A. J. *Sheet Metal Ind.*, 28, 465–72, 1951.

[25] Bradbury, F. 'History of Old Sheffield Plate.' Macmillan, London. 1912.

[26] British Patent No. 8447. 1840.

[27] Percy, J. 'Metallurgy: Silver and Gold.' London. 1880.

635

参考书目

Bevan, G. P. (Ed.). 'British Manufacturing Industries' (2nd ed.). London. 1878.

Cook, M. "The Development of the Non-Ferrous Metal Industries in Birmingham." *Metal Ind., Lond.*, 48, 485–90, 1936.

Davies, R. C. "The History of Electrodeposition." *Sheet Metal Ind.*, 28, 477–81, 1951.

Eppelsheimer, D. "The Development of the Continuous Strip Mill." *J. Iron St. Inst.*, 138, 185–203, 1938.

Forestier-Walker, E. R. 'A History of the Wire Rope Industry of Great Britain.' Federation of Wire Rope Manufacturers of Great Britain, Sheffield. 1952.

Griffiths, R. "History of Non-Ferrous Industries in South Wales." *Metal Ind., Lond.*, 60, 90–93, 1942.

Hammond, G. B. "The Manufacture of Tin-Plates." *J. Iron St. Inst.*, 52, 24–37, 1897.

Larke, E. C. "The Rolling of Metals and Alloys. Historical Development of the Rolling Mill." *Sheet Metal Ind.*, 30, 863–78, 989–98, 1081–91; 1953; 31, 61–72, 241–8, 325–34, 338, 408, 411–25, 1954.

Lewis, K. B. "The Shape of Things to Come." *Wire & Wire Prod.*, 17, 15–23, 26–27, 56–60, 1942.

Morral, F. R. "A Chronology of Wire and Wire Products." *Ibid.*, 20, 862–6, 885–7, 1945.

Pearson, C. E. 'Extrusion of Metals' (rev. ed.). Chapman & Hall, London. 1953.

Sharman, J. C. and Garland, R. J. "Drop Forging." *Engng Insp.*, 10, no. 2, 7–17, 1945.

Thomas, L. "Development of Wire-Rod Production." *Wire Ind.*, 17, 736–9, 743, 823, 825, 827, 903–5, 907–8, 1950.

Timmins, S. (Ed.). 'Birmingham and the Midland Hardware District.' London. 1866.



将精炼铜铸成扁平的铜锭，它们将被热轧成铜板。

第26章 机 床

D. F. 加洛韦（D. F. GALLOWAY）

26.1 总论

1850年以前，机床的发展在很大程度上归功于少数具有丰富想象力和非凡技术能力的人，这些人通常还具有坚强的性格和坚忍不拔的精神。他们包括在朴次茅斯的造船厂里制造出成批生产滑轮组专用机床的边沁（Bentham，1757—1831）和布律内尔（M. I. Brunel，1769—1849），在早期的机床制造者中最有才华的莫兹利（Maudslay，1771—1831），发明生产防盗锁的一系列专用机床的布拉默（Braman，1748—1814），提出蒸汽锤新颖设想的内史密斯（Nasmyth，1808—1890），以及1850年英国的第一流机床制造者惠特沃思爵士（Sir Joserh Whitworth，1803—1887）（第Ⅳ卷，第14章）。

相比之下，19世纪后半叶的机床制造者就逊色多了，常常很难明确界定他们在具体的机床发展过程中所起的作用。相似的进展经常在不同的工厂里同时出现，而机床制造公司的规模又不断扩大，设计者们的个性往往因此被湮没了。

1861年，费尔贝恩（William Fairbairn，1789—1874）在曼彻斯特就任英国联合会主席。他在就职演说中对19世纪上半叶的机床进展作了发人深省的评论：

当我在1814年第一次进入这个城市时，全部机械都是用手工制造的。那时既没有龙门刨床、插床，也没有牛头刨床。除了很不完善的车床和少数钻床之外，制造上的各种准备工序完全由工人手工操作。而现在，每项工作都由机床来完成，其精确度之高，绝非手工所能企及。自动机械差不多都具有独立的创造能力……[1]

然而，按照现代的标准来看，那个时期的机床还比较粗糙。图版41B显示的是一家制造锁、保险箱和保险柜的工厂内景。所有的机器在结构上都比较简单而轻巧，均通过头顶上方的皮带轮由皮带来传动。机器都没有安装保护操作者免受运动部件、传动皮带等伤害的保护装置，因而存在高事故率并不奇怪。在后面工作台上劳作的工人大大地超过了操作机器的人数，说明手工劳动当时在工厂生产中占有较大的比重。

637

这个时期的普通机床能以大约每分钟50英尺的直线速度切削钢材，但它们一般都缺乏动力、精密度和操作灵活性。按照现代标准来看，在早期机床上生产出来的零件的精确度很低。部分原因是机床制造者当时使用的测量仪器很粗糙，但主要是由下列情况引起的，包括机床设计上的缺陷，导杆螺丝、导轨和轴承制造上的误差，以及普遍缺乏刚度。在某些情况下，缺乏刚度是在机床结构上使用木材造成的。

虽然型号不同的机床在细节上有很大的区别，但是1862年在南肯辛顿举办的万国博览会上，机床馆负责人克拉克（D. K. Clark）还是这样指出：

机床制造者们正在朝着共同的结构形式和共同的工艺前进。滑动面都经过了刮削；螺纹是均匀的，铸造的机架是空心的；所有的车床床身都用铸铁制造，并且都经过了刨削；主轴箱都是相似的，都装有

后齿轮、锥形轴承和滑动主轴。丝杆都用切丝机切削，车轮车床都有两个面板，通过后面的圆形齿条来驱动，它们都适于单个地、同时地或联合地进行加工。最为重要的是，机床制造者们一致同意使用自动进给装置。

26.2 惠特沃思爵士

19世纪中叶，英国的机床制造业居于领先地位，这主要应归功于惠特沃思爵士。从他在1851年和1862年的万国博览会上展出的优良机床展品，到他对均匀螺纹的杰出研究工作，再到他的精确度达百万分之一英寸的测量仪器以及他的端面测量系统，所有这一切都表明他在洞察机械问题的本质和提出新颖的解决方案方面具有无与伦比的技艺。此外，惠特沃思还采用了空心铸造法或箱形铸造法来铸造机床架，这曾被看作一项极其重要的进展，以致克拉克激动地赞叹说："箱形铸件抵抗一切类型的应变（纵向的、横向的和扭转的）的能力是很优异的，即便不是这些展览者提供的最有用的展品，它也一定是最可喜的展品之一。"惠特沃思也在更多方面给了其他机床制造者以指导，例如他把机床架的小零件同主要铸件铸在一起，而此前试图赋予机床不连续外观的做法是把小铸件用螺栓接在大铸件上。

坚持不懈地进行严格的测量，这是惠特沃思使他的机床具有优越性的一个极其重要的因素。早期的机床制造者们曾经遇到过极大的困难，因为缺少进行精密测量的设备，而且由于没有统一的测量标准，问题就变得更加严重。惠特沃思问道："人们对于'接近1/16'或者'整整1/32'这样的尺寸能有什么精确的概念

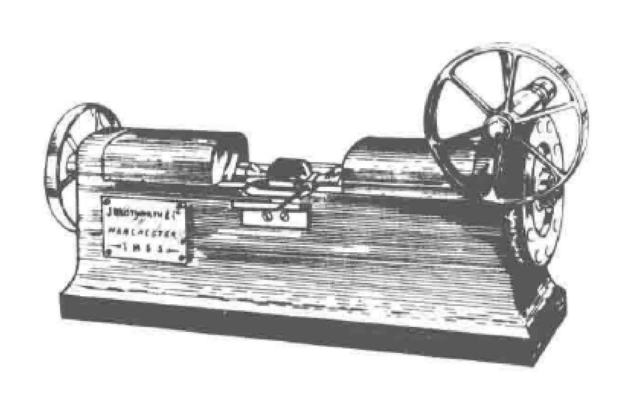


图337 测量精确度达百万分之一英寸的惠特沃思测量仪。

呢？”这些都是19世纪中期尺寸的通常表达法。直到惠特沃思采用了以使用平行端面的标准量规为基础的端面测量方法使车间的测量合理化之后，人们才不再使用这些粗略的表达法。为了拿极限量规跟标准端面量规进行对比，他设计了测量精确度达百万分之一英寸的测量仪（图337）。当1856年展出这台仪器的时候，惠特沃思在机械工程师学会上发表了当时颇具革命性至今仍广为接受的讲话：

用这种测量方式，我们能获得想要的任何精确度。我们从车间的实践中发现，按照端面测量标准加工到千分之十英寸，比按照两英尺长标尺上的刻度线加工到百分之一英寸还要容易。因此，在所有的装配工作中，都应当采用长度端面测量法来代替直线测量法。

26.3 各种因素对机床发展的影响

19世纪后半叶，机床的制造受到了下列因素的深刻影响：可互换性制造原则的更广泛采用、切削工具材料的改善、欧洲战争和美洲战争所导致的对轻武器需求量的增加、新发明的采用以及电力在工业上的应用。这些因素的影响深入机床发展的各个方面。

可互换性制造　在18世纪后期和19世纪初期，英国、法国和美国都采用了批量生产的基本原则，但在科尔特（Samuel Colt，1814—1862）和鲁特（Elisha Root，1808—1865）于1849—1854年在康涅狄格州哈特福德的科尔特军工厂设计制造科尔特式左轮手枪之前，复杂零件的大量生产并没有取得进展。科尔特上校决心在生产左轮手枪的各工序中都采用可互换性制造原则，杰出的工程师鲁特在生产实践中解决了这个问题。这意味着工厂制造的标准化零件只需经过适当的选择，就可以装配成最终产品。鲁特设计并制造了许多半自动化机床（边码646），还制造了大量的量规，以保证生产出来的零件的精确度。他比以前任何时候都更多依赖专用夹具和定位装置，其总花费几乎跟

机床相等。科尔特军工厂采用的制造方法获得了极大成功，鲁特的原则后来被其他制造者所采纳。

1853 年，受命研究轻武器制造方法的一个英国皇家委员会（其成员包括惠特沃思和内史密斯）在访问了美国之后，对米德尔塞克斯的恩菲尔德的轻武器制造厂进行了彻底的改造，这使英国的可互换性制造取得了革命性的进展（第Ⅳ卷，边码 441）。内史密斯对斯普林菲尔德的轻武器制造厂的印象特别深刻，他写道："那里的人们使用专门设计的机床来极其精密地制造毛瑟枪和来复枪的所有零件，这使他们能抛弃只依靠手工技巧的做法，生产出任何数量的武器。"惠特沃思则在访问报告中指出：

> ［美国的］工人阶级在数量上比较少，但是他们利用机器的热忱弥补了这一缺点（人数少确实可被看作激起这一热忱的主要原因之一）……凡是可以使用机器的地方，他们都普遍地、心甘情愿地采用了机器。

所谓的美国式可互换性制造的许多原则后来都被英国采用了，并且还在恩菲尔德的工厂中安装了一些美国用来生产轻武器的最有用的机床。但美国的生产程序被明显地改进了，因为克拉克称美国人"从未达到过恩菲尔德的工厂所达到的完善程度"。这家工厂所保持的高精确度标准的一个标志就是每周生产 2000 支来复枪，每支需要 700 多个单独的工序，每支来复枪的零件完全可以同那里制造的其他来复枪的相应零件进行互换。

新发明　1850 年以后，机床工业的历史发展也是以打字机（边码 689）、缝纫机（边码 588）和安全自行车（边码 416）等新发明为条件的。一旦公众对这些新发明器械的需求量不断增大，就需要找出一些新方法来精确且经济地生产大量的零件。19 世纪的整个后半叶如同

640

以前的 75 年一样，新发明在商业上的成功或者在技术上的应用，常常由于没有发明良好的机床而延迟推出。在威尔金森（Wilkinson）制造出一台比较精密的镗床之前，瓦特（James Watt）的蒸汽机并不完全切实可用。在福特（Henry Ford）对汽车工业的生产方法进行彻底改革之前，汽车只不过是昂贵的奢侈品而已。虽然英国在 19 世纪就设计出可与现代数字计算机相媲美的机械装置，当时工艺和机床上的局限性却阻碍了具有足够精确度的零件生产。

切削工具的影响 1850 年，切削工具的主要材料是普通碳钢，用它制造的切削工具在切削速度超过每分钟约 40 英尺时，并不具有经济的工作寿命。大约在 1868 年，马希特（Robert Mushet）发现往工具钢内掺入钨和钒并增加锰的含量，就能生产出自硬化工具即空气硬化工具（边码 65）。马希特钢减少了热处理的不确定性，将容许切削速度从每分钟 40 英尺提高到了大约 70 英尺。接下来的主要进展是泰勒（Taylor）和怀特（White）在 19 世纪末研制出的高速钢。这种新型钢含有钨、铬和钒，由于在红热状态下仍能保持硬度，所以切削速度可以达到每分钟约 120 英尺，在 1900 年的巴黎博览会上曾经引起过全世界的关注。在采用马希特钢和高速钢后，当时的机床并不能充分利用这种新材料的优点，因为它缺乏刚度，动力不足，并且在高载荷和高切削速度下会发生振动。于是，人们制造出更坚固、比例更匹配的机床，而且特别注重主轴轴承的设计。

可快速变换的齿轮变速箱的发展 由于生产速度的普遍加快，所以人们对于比塔轮和跨轮更能达到较宽速度范围和进给范围的机床的需求也日益增加。为了改变速度，使用塔轮时要把传动皮带从一个皮带轮滑到另一个直径不同的皮带轮，而且还常常需要把跨轮用螺栓固定在皮带轮上，以便获得特定的速度。这些缺点激励人们去进行研究，1892 年终于在美国采用了诺顿（Norton）齿轮箱。有了这种齿轮箱的帮助，只要移动一下手柄，就可以选择各种不同的切削速度。这样一

641

来，诺顿齿轮箱在增大速度范围的同时，还大大方便了速度的改变。由于具有这些优点，它很快便为大多数机床制造者所采纳。1900 年，人们发明了能得到无级变化主轴速度的机械设施，只需在车床的横刀架上安装一个摩擦锥轮传动装置，就能在工件直径减小的同时使主轴速度成比例地增大，从而在整个加工过程中保持切削速度均匀不变。

机床的电气化　在 19 世纪的大部分时间里，驱动机床的动力都来自蒸汽机。蒸汽机常常位于离机床很远的地方，工厂里到处是密密麻麻的皮带、主轴和副传动轴。但是，在 1873 年的维也纳博览会上，有人向公众演示了使用电能来驱动机床。次年，一位访问者在参观巴黎电气工程师格拉姆(Gramme)的工厂(边码 118)时看到：

> 全部车床、工具和其他机器的驱动方法是：用皮带把他的小型照明机器之一接到不跟蒸汽机连接的轴上，这台机器运行起来就像磁性发动机，由他的一台大型机器所产生的分路电流来驱动，速度为每分钟 815 转。大型机器在另一条线路上还同时燃亮了一盏 2400 烛光的电灯。

到 19 世纪末期，人们已经使用大型电动机作为动力源。此后不久，单独的电动机开始被机床制造者普遍用来驱动机床。起初，电动机通常都安装在离机床有一些距离的单独底座上，机床按常规的方式用皮带传动。但是，有些机床制造者已经把电动机配置到机床结构中。一位机床供应商预言说：“这种结构会导致直接连接的机床，这是一个具有重大意义的新的机器种类。”到了世纪交替之际，有些机床已有两台或更多的电动机分别驱动主轴、进给机构和其他装置。

26.4 特殊类型机床的发展

虽然对某一具体类型机床的精细改进，通常会对大多数其他类型机床的制造产生影响，但是一般设计上的进展常常独立于其他机床的发展。为方便起见，下面分别叙述每一具体类型的机床。

642

钻床 在1850年至1900年期间，钻床的一般形式和结构并没有发生根本性的变化。后来出现的精细改进，主要是因为采用了马希特钢和经过改良的麻花钻，从而有可能采用较高的转动速度和进给速度。

1862年，汤姆林森（Tomlinson）把惠特沃思公司制造的一台钻床描写为“迄今所制造的最完美的钻床之一”（图338）。三阶塔轮B不用跨轮就能给出三个主轴速度，利用跨轮则能取得三个较低的主轴速度。主轴通过两个螺旋齿轮J自动进给。螺旋齿轮与周围有摩擦环S的两个小滑轮联成一体。当摩擦环夹住滑轮的时候，螺旋齿轮就不能转动；螺旋齿轮固定下来时就成为主轴有螺旋的中心部分的螺母，这使得主轴转动时只能向下进给。当摩擦环松开时，两个螺旋齿轮便与主轴一起转动，这时主轴不会垂直移动。改变摩擦环与螺旋齿轮之间摩擦的大小，便可调整进给速率。当进给装置脱开时，主轴靠配重A的作用返回到其行程的顶端。圆形工作台K可靠蜗杆和蜗轮而绕轴转动，还可以操作通过齿轮带来固定螺母且丝杆旋转的手柄，使圆

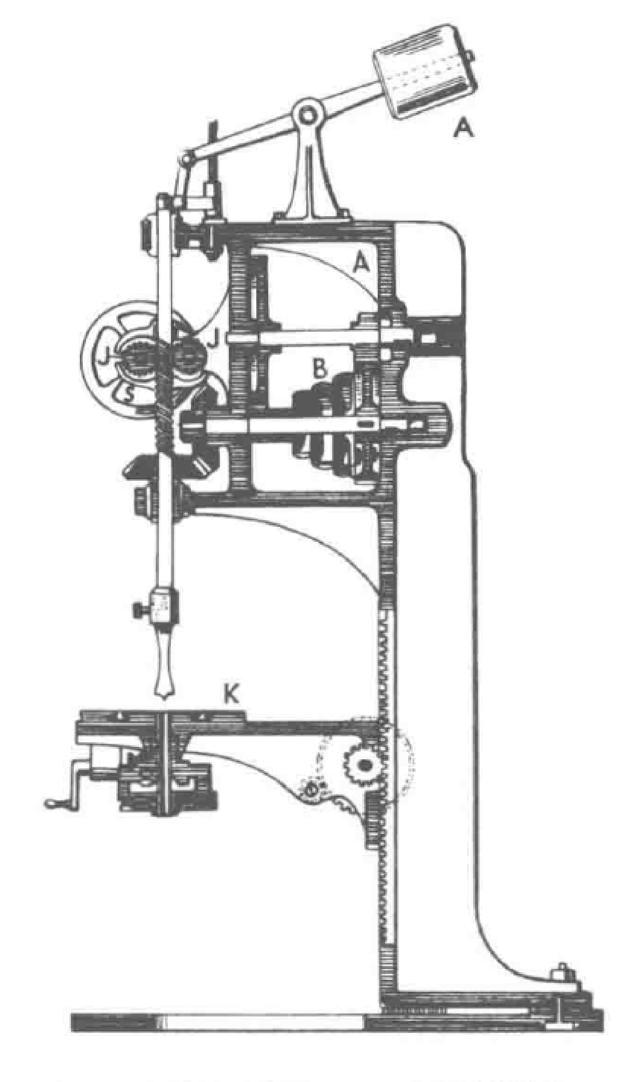


图338 惠特沃思公司于1862年制造的钻床。

形工作台朝向或离开钻床架来回运动。主轴底部所示的钻头是当时通用的平头钻。麻花钻是19世纪60年代的新产品，由于它能容许使用较高的转动速度和进给速率，对钻床的发展产生了重要影响。到20世纪头十年的末期，摇臂钻床已经达到了图339所示的发展阶段。

使用图340所示的多轴钻床，可以同时钻许多孔。这种多轴钻床曾在1860年机械工程师学会的一篇宣读论文中被作过描述。当年在查灵克罗斯附近的泰晤士河上修建亨格福德铁路大桥时，主侧梁使用5/8英寸厚的钢板，这种钻床就是为了在这种钢板上钻直径为1英寸的孔而制造的，钻头转速为每分钟50转，由液压进给的速度大约为每分钟0.040英寸，两次研磨之间的平均寿命为10个小时。

643

钻槽钻床是内史密斯设计的，用来在实心金属上钻槽或钻深孔，加工时钻头或工件可横向来回运动。1862年万国博览会展出了一系列钻槽钻床和开槽机，其中的一台如图341所示。主轴箱借助水平

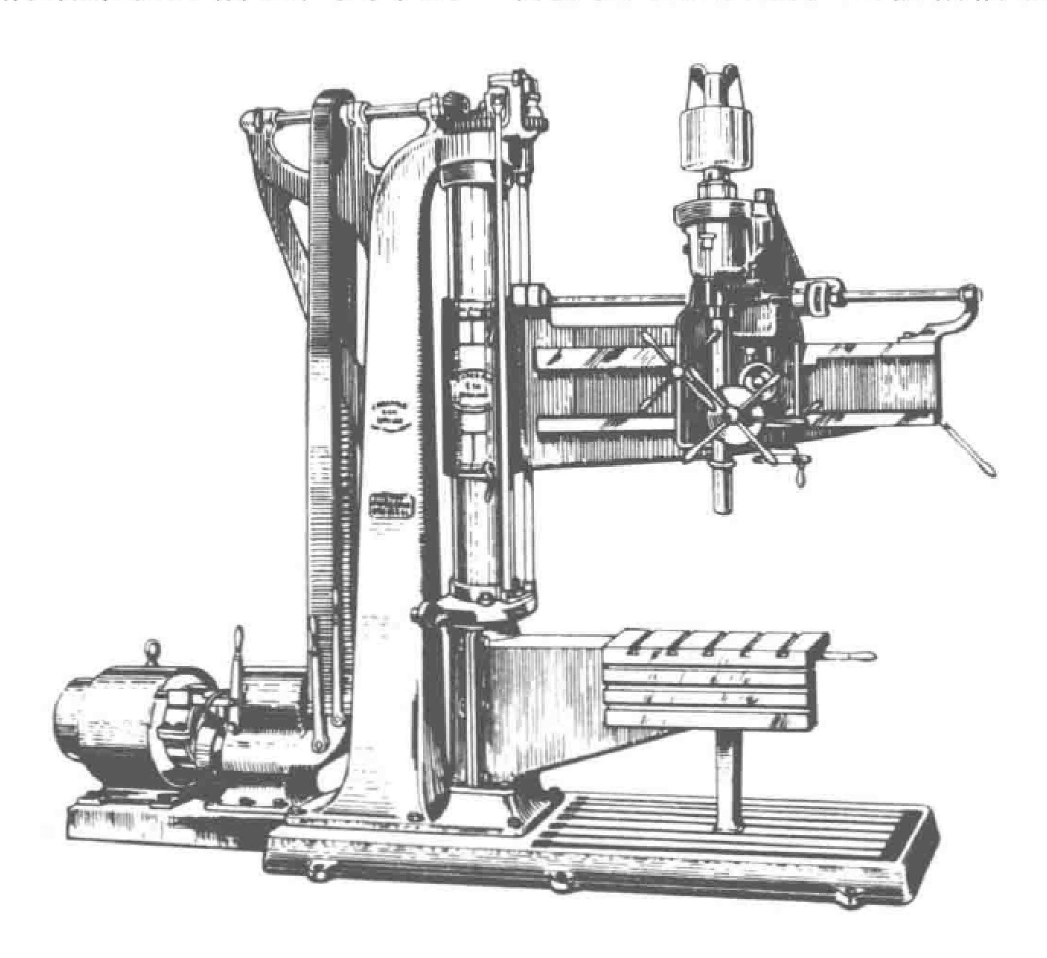


图339　在20世纪头十年间制造的典型的摇臂钻床。

的带槽圆盘和连杆可做往复运动，通过一个偏心齿轮可获得几乎均匀的直线运动速度。这种机床不仅可用来开槽，还可钻孔、钻键槽和在实心金属上钻深孔，等等。这种钻槽钻床之所以成功，主要是因为内史密斯设计了槽钻头，它是一种去掉了中心部分的平头钻。内史密斯对这种钻床和钻头的发展进行了描述：

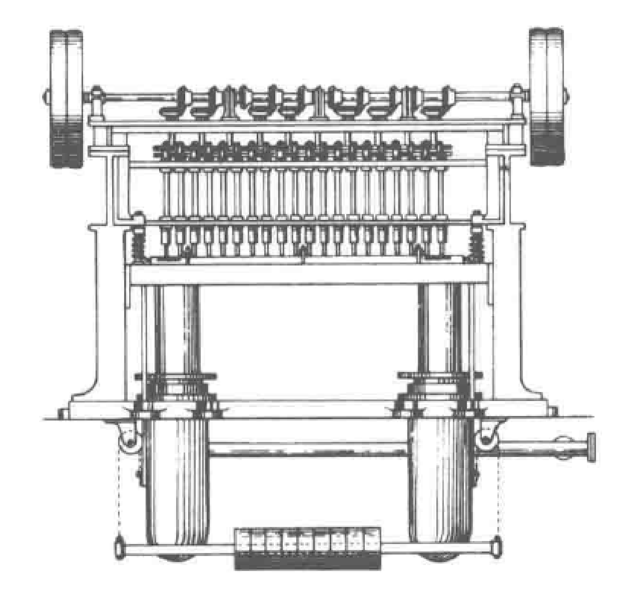


图 340　为了给亨格福德铁路大桥主梁钻孔而制造的多轴钻床。

在制造机器零件时最令人生厌和最费钱的工序之一，就是在活塞杆和连杆上加工出楔形槽以及在轴上开出键槽。以前这个工序是这样进行的：在工件的实心部分钻一排孔，然后凿掉位于孔间的金属，再用锉刀把如是形成的粗糙的槽锉成所需要的形状。如此操作的整个工序，是工程师可能遇到的最令人讨厌和苦恼的任务之一，而且这样的工序只能由具有最高技能的人员来完成。一方面是因为凿子和锉刀经常损坏，另一方面是因为这种活儿如此令人厌烦，即使对最能干的人来说，也是一项十分艰难的任务，更不用说工资成本的昂贵了。

644

为了克服所有这些缺点，我设计了一种使用特殊形状钻头的机床。这种钻床一下子把这种加工过程简化为车间里最容易进行的工序之一。钻头的“特殊”之处就在于去掉了钻头平切削面上的中心部分，并在上面做出一个槽口。这样不仅能够向下钻削，而且能向旁边钻削，结果就加工出了槽口，即长方形眼。这里没有什么费力的活儿，只需要一个人精心地把工件放到钻床上，加工完后把它取下来，再换上另一个工件。机床本身做了费力的工作，并且靠自动动作使加工出来的零件达到最完美的程度[2]。

然而，在使用这种类型的钻床时，问题出在钻头的颤震，这是因为主轴箱来回运动时钻头会受到波动力。防止钻头颤震而采用的方法，包括用两柄短钻头从相反的两面同时切槽。

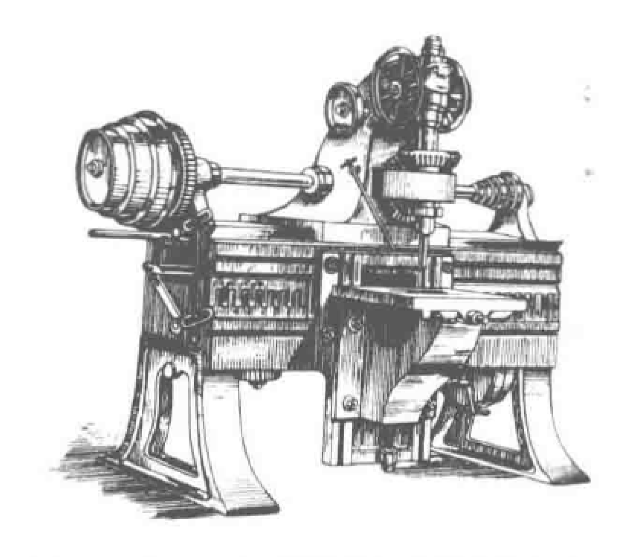


图 341　在 1862 年万国博览会上展出的钻槽和开槽用的钻床。

转塔式六角车床　在莫兹利发明了滑动刀架之后，车床结构上最根本性的改进是能装多达八把刀的转塔的发明。把转塔从一个位置转到另一个位置，就能迅速地把每把刀送到加工位置上。把车床调整好之后，所有的车刀都安装好并固定在适当位置，即使非熟练操作者也能加工大量的工件，直至因车刀发生磨损或损坏而需要做某种调整或更换。转塔式六角车床是第一批半自动化机床之一，由于提高了生产速度并且非熟练工人也能操作，它对 19 世纪中叶的可互换性制造产生了直接而广泛的影响。今天，转塔式六角车床也许是批量生产中应用最广泛的机床。

645

一般认为转塔式六角车床是美国发明的，不过据称早在 1840 年前，英国就为带有立式转塔的六角车床颁发了专利证书。19 世纪 40 年代，美国的新英格兰地区确实在使用着好几台转塔式六角车床，但曾有人认为它们是移民到那里的英国工程师带去的，或抵达美国后根据有关转塔式六角车床的原理制造出来的，“可以很有把握地说，不管属于二者之中的哪种情况，这些机床都是英国设计的表现形式”[3]。然而，并没有直接的证据能够证明英国在这个时期曾经使用过转塔或六角车床，而且值得注意的是，在 1862 年万国博览会上，英国显然没有展出过这样的机床。

在美国，第一批转塔式六角车床似乎是安装在马萨诸塞州北切姆斯福的西尔弗－盖伊（Silver-Gay）工厂里。其中，一台车床在垂直轴线上装有一个六角转塔，另一台则装有一个在水平轴上转动的转塔。垂直轴式转塔安装在床身的大型刀架上，水平轴式转塔则直接安装在床身的滑板上，两种转塔都能用手转动并锁定位置。美国在1845年使用的早期转塔式六角车床装有一个自转转塔。大约10年之后，鲁特制造了一台装有水平转塔的车床，用来在科尔特军工厂生产左轮手枪零件。毫无疑问，对由斯通（Henry Stone）设计、罗宾斯－劳伦斯公司（Robbins & Lawrence）于1854年制造的第一台商用转塔式六角车床来说，豪（F. W. Howe）起了重要作用。他以前受雇于西尔弗－盖伊公司，其时在公司的机械加工车间里有两台转塔式六角车床（第Ⅳ卷，边码439）。1855年，罗宾斯－劳伦斯公司制造的一台转塔式六角车床如图342所示。

646

转塔靠棘轮和棘爪进行自动转动的六角车床于1861年在美国制造出来，当时还采用了一种在主轴旋转时进给并抓住工件材料棒的装置。这种车床的发展史上的另一个里程碑出现在大约1889年，当

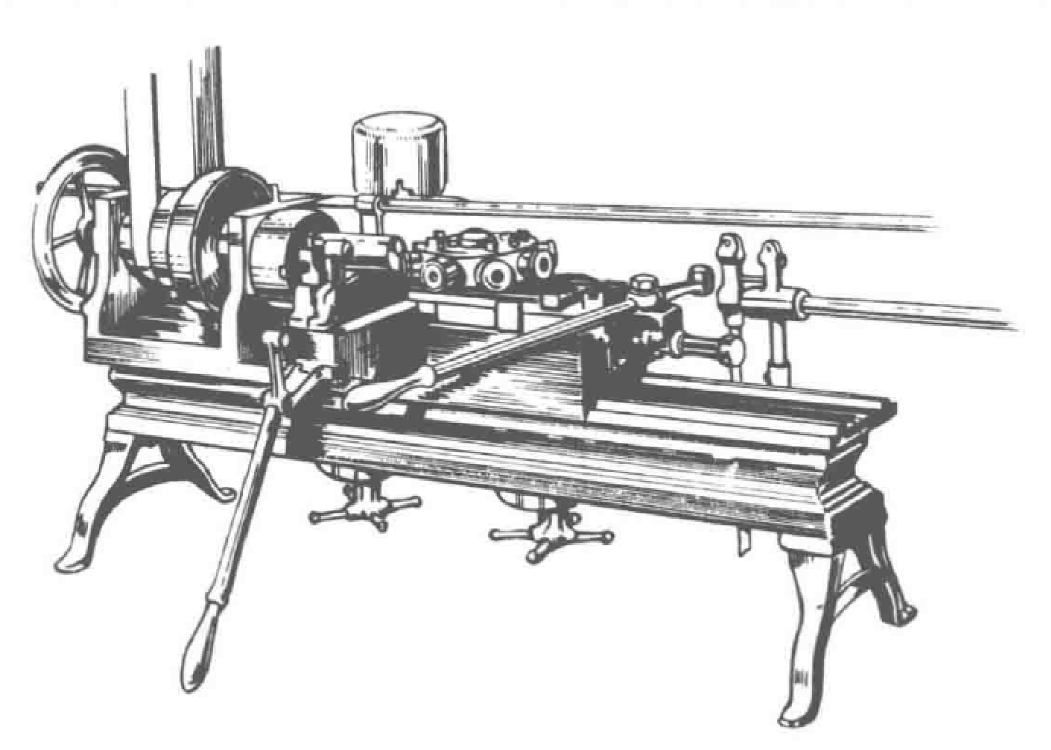


图342 美国佛蒙特罗宾斯－劳伦斯公司于1855年制造的转塔式六角车床。这台车床一直到1924年仍在使用。

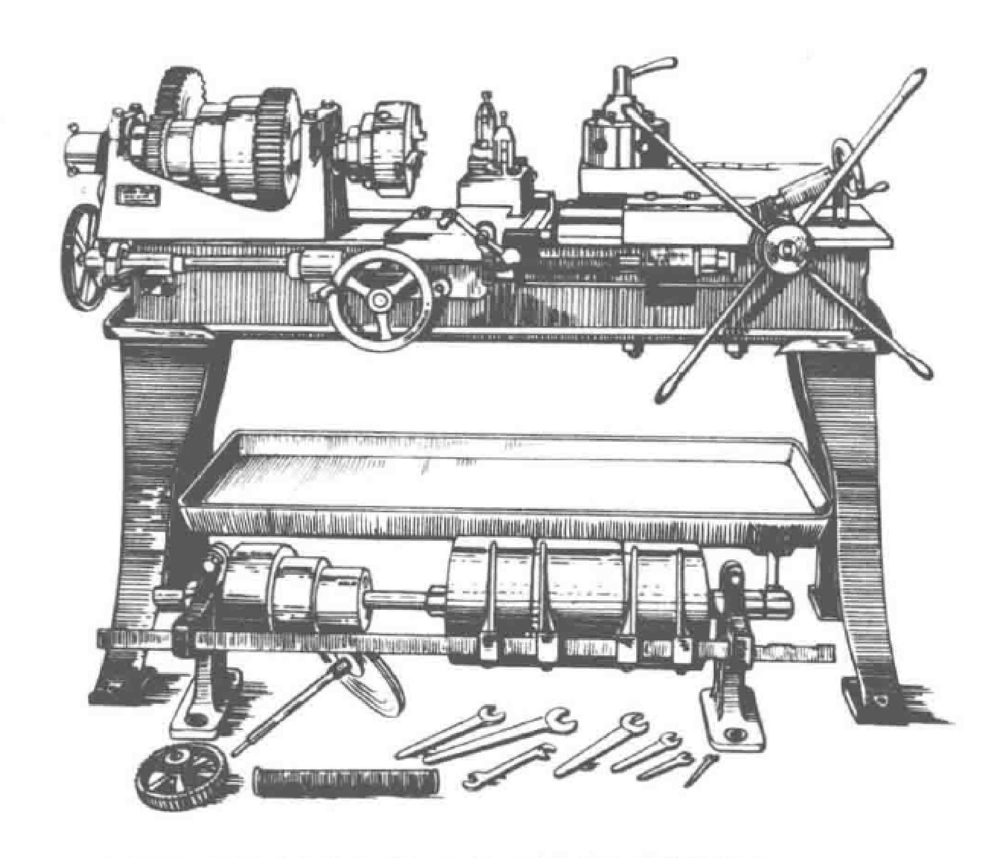


图 343　转塔式六角车床在 19 世纪末期达到的发展阶段。

时美国的琼斯－拉姆森机器公司（Jones & Lamson Machine Company）的哈特内斯（James Hartness）发明了平转塔式六角车床。从实质上说，它的转塔是一个外缘被夹住的水平板，用螺栓固定在转塔上的刀具都不伸出底座。到 19 世纪末期，转塔式六角车床已达到图 343 所示的发展阶段。

自动车床　在美国南北战争期间（1861—1865），形势要求人们提高产量并减少所用的劳动力，这对自动机床的发展起了重要作用。用于成批生产螺纹紧固件的自动车床制造于战争期间，但对自动生产的发展具有最深远影响的机器则是由斯潘塞（C. M. Spencer）在美国国内战争后不久设计出来的。他制造了一台安装有后来被叫作“自动轮”的圆柱体凸轮的车床（图 344），通过安装在凸轮圆柱体上的可调凸轮来控制切削工具和塔轮的运动，凸轮圆柱体则用齿轮连接到主轴传动装置。只要向车床供给棒料，它就能自动加工零件，直至刀具因被磨损或损坏而需要更换为止。斯潘塞的车床在美国被广泛用来生产

647

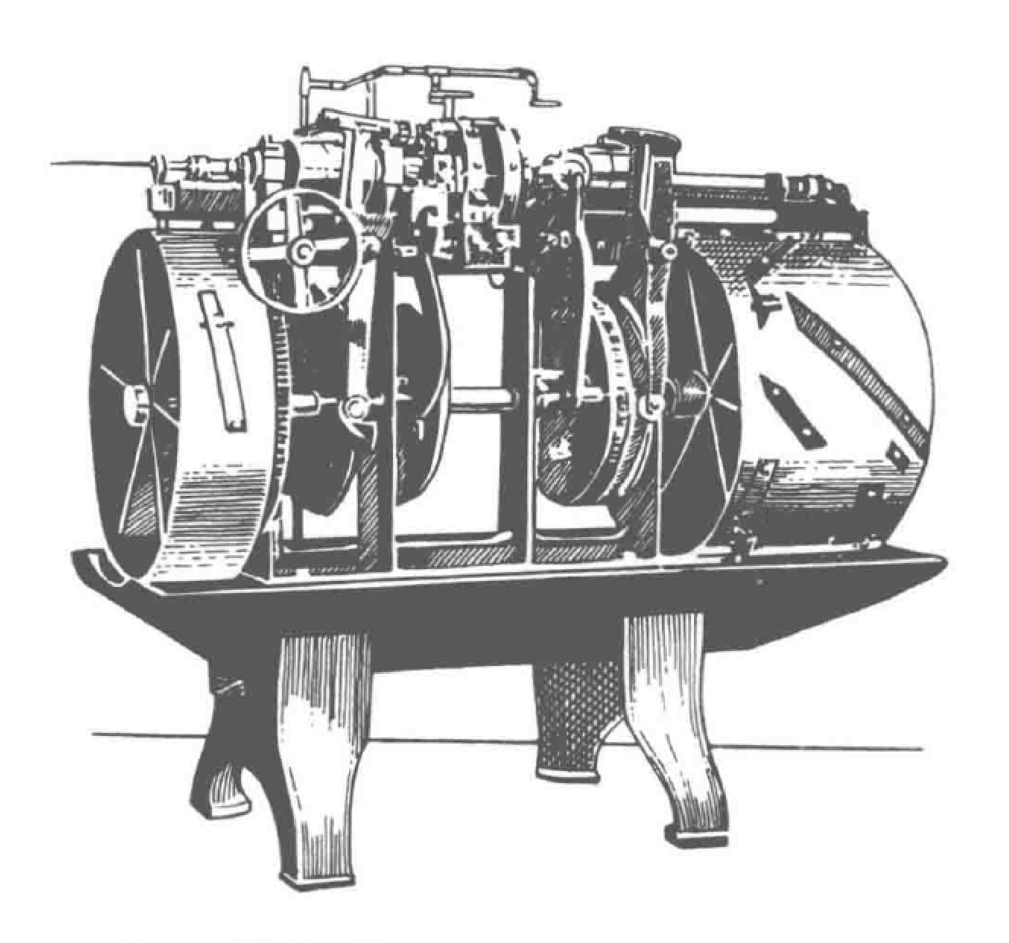


图 344　安装有圆柱体凸轮的斯潘塞式自动车床。

螺纹紧固件和类似的零件，因此小型自动车床在美国总是被叫作自动螺丝车床。

1879 年，帕克（C. W. Parker）获得了一项生产螺纹紧固件用的英国自动车床的专利，后来这种车床由格林伍德 – 巴特利（Greenwood & Batley）（图版 40B）制造出来。棒料通过主轴箱进给，由固定的车刀切削到所需尺寸，然后车刀退出，以便板牙上前去切出螺纹，再由切割刀把螺丝从棒料上切下来。这台车床原来还被设计成能加工螺杆头，后来这一工序改在另外的机床上进行。这台车床在加工直径 1/8 英寸的螺钉时，生产速率为每小时 80—150 枚，视螺钉长度不同而异。车刀由沿床身全长都有凸轮的轴带动，车床上还安装有一个辊式棒料进给装置。

648

到 19 世纪末期，自动车床在尺寸和功率上已经取得了很大进展，

并用于对各地兴起的新工业所需要的各种各样的零件进行自动加工。当时已广泛使用自动进给装置，并采用了自动储存送料装置，以便自动地向车床送进小锻件、半成品和其他材料。

1895年，美国在制造一种用于生产缝纫机零件的多轴自动车床时采用了一项重要的新原理。在单轴自动车床上，一次只能制造一个零件，刀具必须靠横刀架和转塔带入相继的工序。但是，在多轴自动车床上，主轴箱里有好几个主轴，它们周期地转动到新的位置，因而可以同时加工好几个零件。这样，只需花费单轴自动车床加工一个零件的时间，多轴自动车床就可以加工完一组零件。在美国制造的第一批多轴自动车床里，有一台装有五个轴。到19世纪末期，在美国和瑞典都可以买到四轴的自动车床。由于采用了凸轮操纵机构、肘节卡盘、套爪以及其他装置，操作者可以同时开动成排的自动车床，所需做的只是偶尔调一调刀具和往车床上送入原材料。

649

镗床 1775年，铁匠威尔金森(John Wilkinson，1728—1808)制造了一台卧式镗床，用来加工瓦特蒸汽机的汽缸(第Ⅳ卷，边码

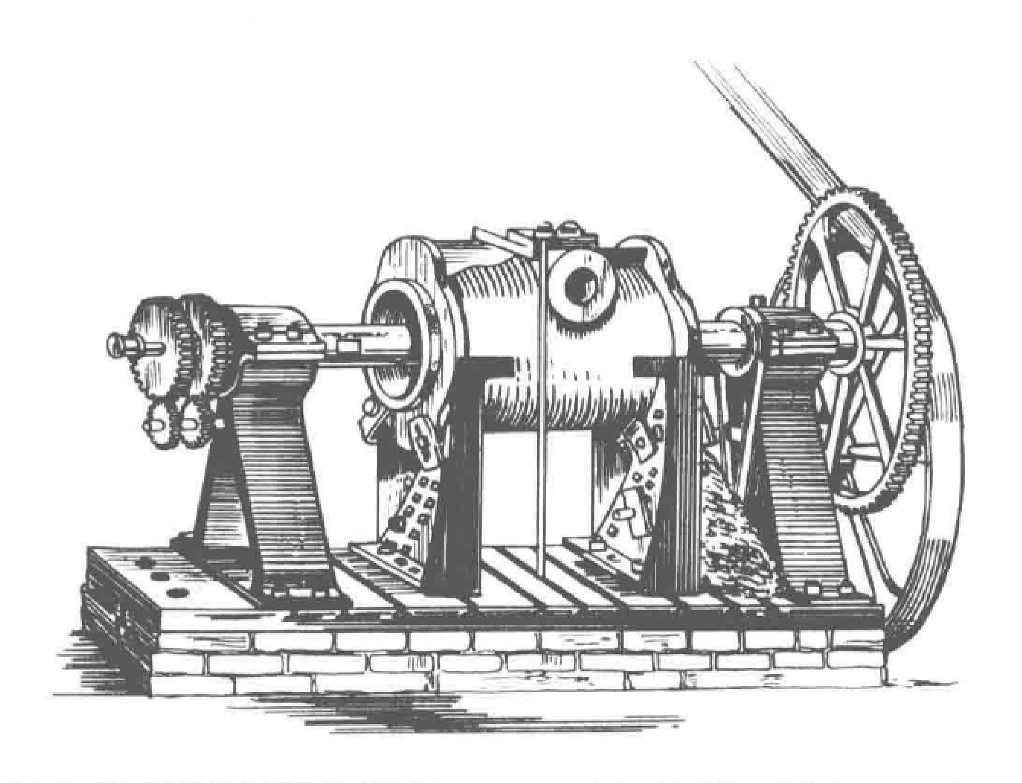


图345 西部大铁路的斯温登工厂(Swindon works)里正在镗机车的汽缸，1851年。

421)。在1851年，这样的镗床还是比较粗糙的（图345），但到19世纪末期已开发出现代卧式镗床才有的许多特点，镗制的工件尺寸和镗削的精确度都有了很大提高。立式镗床大约在1795年开始采用，图346所示的那台镗床早期就安装在博尔顿和瓦特的索霍铸造厂（Soho foundry）内，镗床的中心柱由固定它的建筑物墙壁上的结构来支承。由于具有便于加工大型零件的优越性，这种设备在1890年之后很快便得到了普遍应用。在水平的旋转台或卡盘上夹紧大型零件，要比在竖直的旋转台或卡盘上夹紧大型零件容易得多。 650

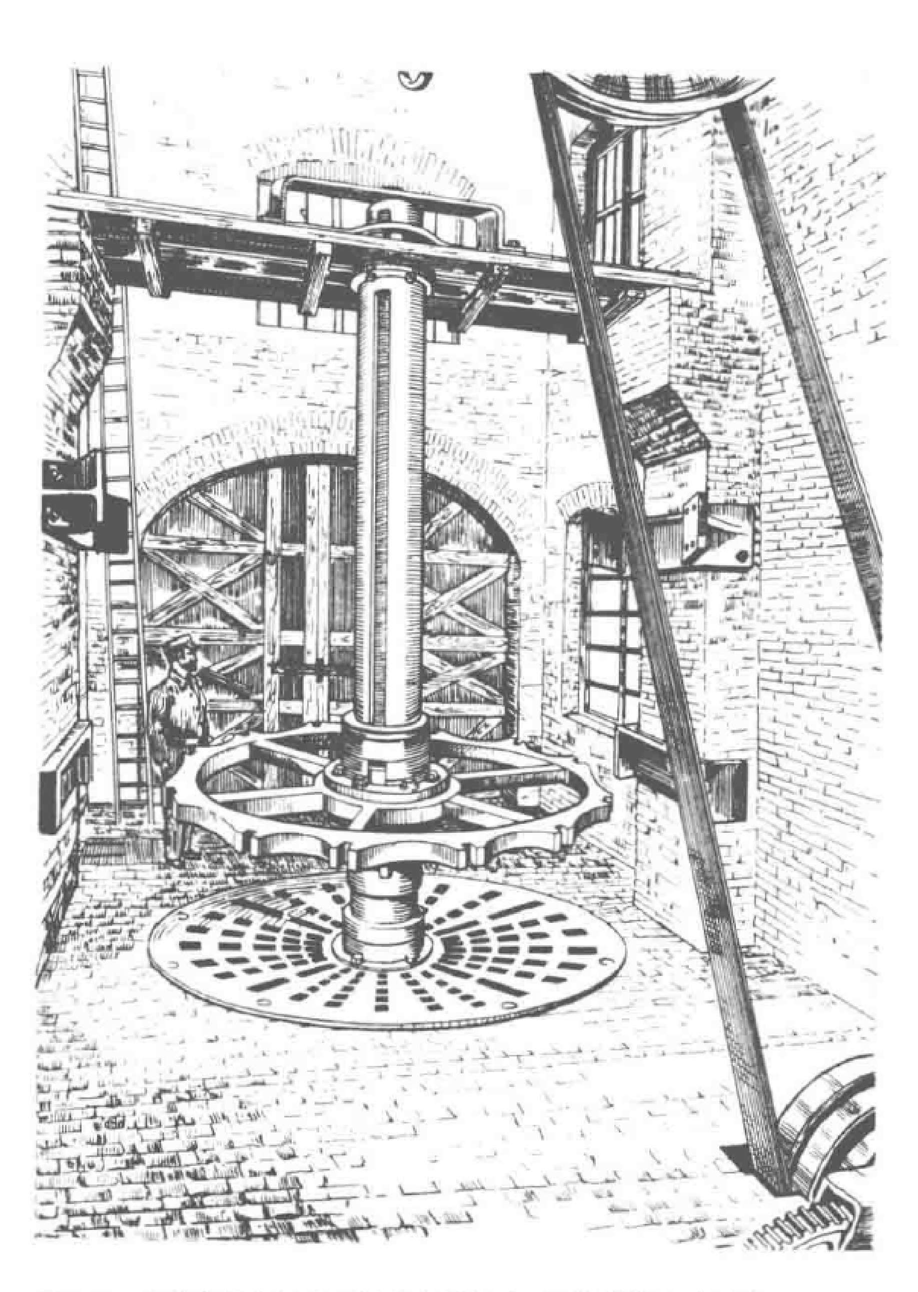


图346　安装在博尔顿和瓦特的索霍铸造厂里的早期立式镗床。

刨床 19世纪初期，人们使用图347所示样式的面板机床来加工平面。但是，到了19世纪20年代，在罗伯茨（Roberts）和其他人采用刨床之后，人们很快认识到了用刨床进行直线加工的优越性。瓦特工厂使用的一台早期的立式刨床示于图版41A，在这种类型的刨床上，切削工具对固定的工件作切削运动。但是，带往复运动工作台的刨床后来逐渐得到了普遍应用。

1836年，美国制造出第一台刨床，花岗岩的床身上开了槽以便安放铸铁导轨，工作台可借助平链条和链轮沿着床身做往复运动。但到19世纪中期，英国制造的刨床已具有20世纪相当晚期的刨床所具有的某些特征了。在1862年万国博览会上展出的费尔贝恩（Fairbairn）公司的自动刨床，用来刨削20英尺长、6英尺宽的工件（图348）。工作台靠齿条和齿轮做往复运动，刨床上安装有一个自动进给装置和一个自动快速回动装置，每一个刀箱座架都可转动360°，也能刨削竖直的平面。

1860年以前，人们已经很关注如何减少刨床工作台空载返回的时间。有些刨床安上了箱形刀架，工作台在每一次载荷运动结束时能自动换向，所以刨刀能在两个方向上进行刨削。惠特沃思制造的大型刨床装有两个箱形刀架，因而有两套刨刀能在两个方向上进行刨削。他制造的大部分小型刨床以及其他机床制造者制造的所有刨床，都使用不换向的箱形刀架，因而只能在一个方向上进行刨削，但工作台能做快速返回运动。早在1860年，换向箱形刀架就渐渐不受欢迎了，一部分原因是换向机构有时候会发生故障。

651

由于采用了新的刀具材料，刨床的切削速度得到很大提高，转而又使工作台返回速度进一步提高。到19世纪末期，换向箱形刀架已明显被淘汰。工作台返回速度与切削速度之比，由前进运动皮带轮和返回运动皮带轮的直径确定，因此提高切削速度引起了返回速度成比例地提高。但是，由于工作台自身的动量和传动机构的动量，工作台

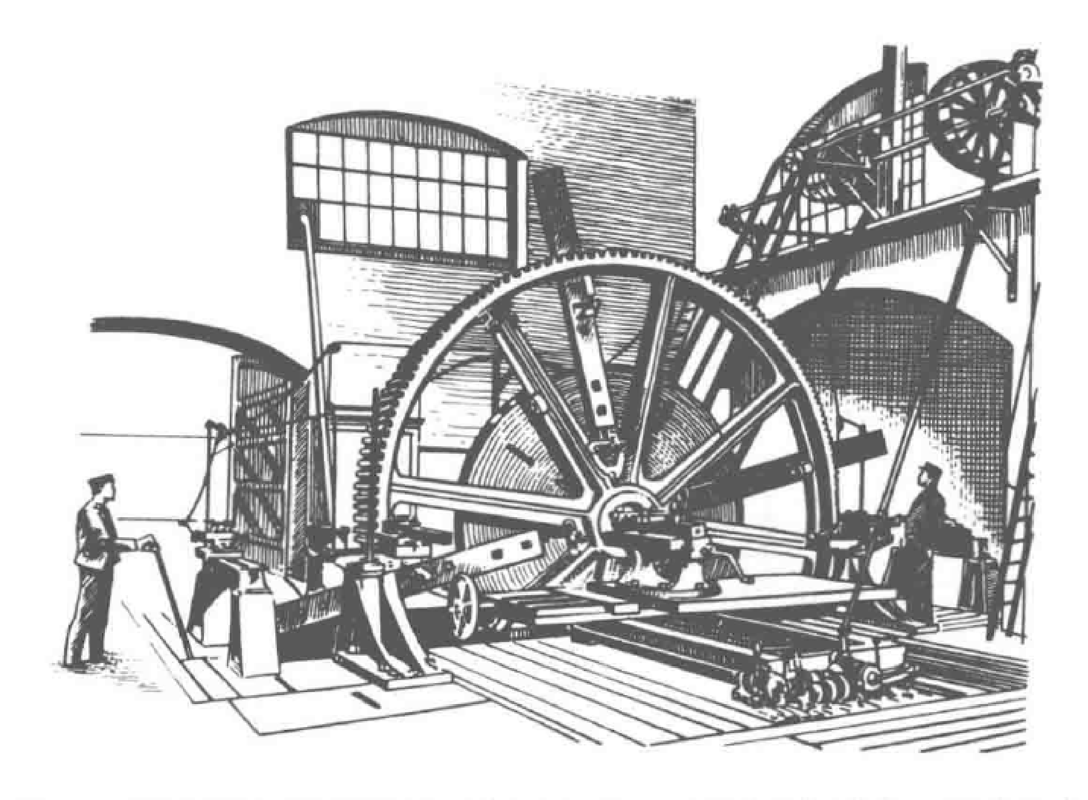


图 347 安装在索霍铸造厂里的能加工直径达 26 英尺工件的大型落地车床，1850 年以前。

的返回终于成了严峻的问题。这时，人们发明了不论切削速度如何都能使工作台以固定速度返回的换向装置，还发明了许多缓冲返回振动的装置，例如缓冲器、弹簧联轴节和滑动齿条等。

652

在 1862 年举行的万国博览会期间，人们对采用丝杆和齿条齿轮使工作台往复运动的相对优越性还存在相当大的争议。由于齿条上使用的齿形大约到 1860 年已有重大改进，有些制造者已不再使用带有两组、三组甚至四组平行齿的"反复式"齿条。当时，使用反复式齿条是为了减小刨床工作台运动时因齿形不正确而引起的不均匀性和震颤，但制造这类能使刨床平稳运转所需精度的齿条的难度很大，齿条的齿也很容易损坏。不过，由于发明了良好的齿条齿形，工作台靠单排齿条就可平稳地进行往复运动，而且单排齿条很容易被制造出来。在 1862 年万国博览会上展出刨床的机床制造者中，只有惠特沃思还在继续采用丝杆使来工作台进行往复运动。

围绕在车床上使用丝杆和齿条齿轮的问题，同样发生了类似

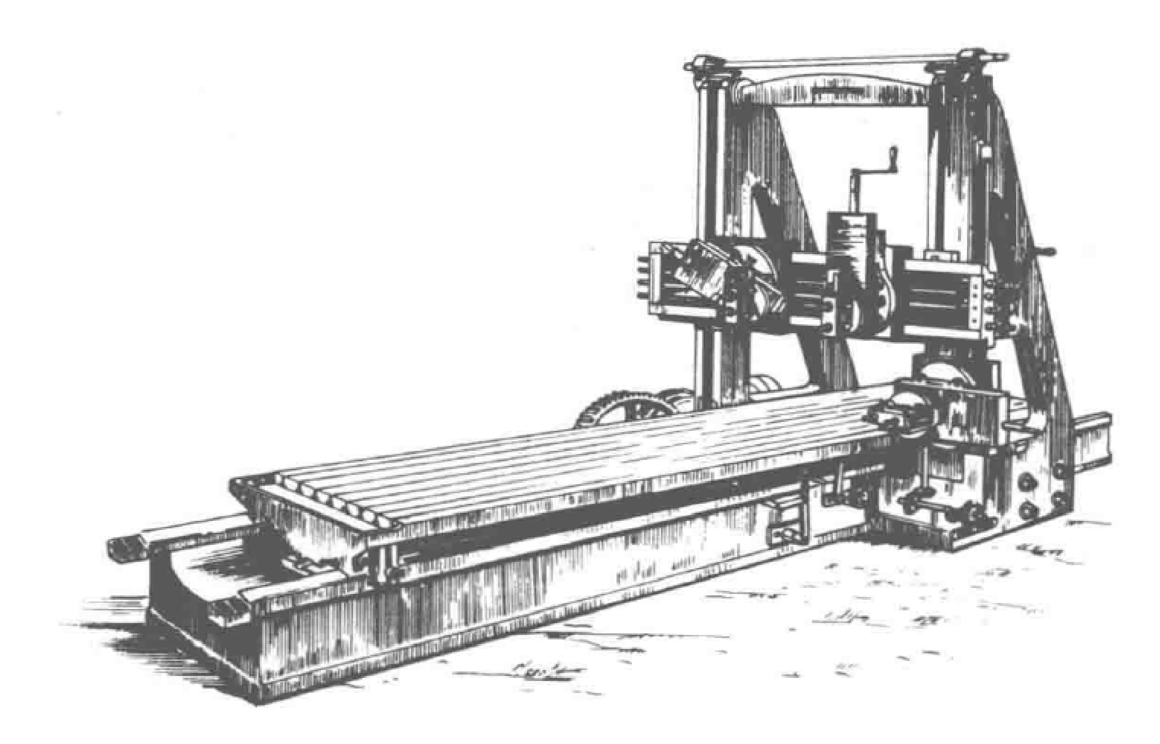


图 348　费尔贝恩公司在 1862 年万国博览会上送展的一台自动刨床。

的争论。大多数机床制造者认为，如果把丝杆用于一切目的，将会导致不规则磨损，从而降低车床生产的丝杆的精确度。然而，惠特沃思既使用丝杆来切螺纹，同时又使用丝杆来移动工作台。但是，主张把齿条齿轮同丝杆结合起来使用的观点最后占了上风。

铣床　虽然美国人惠特尼（Eli Whitney，1765—1825）早在 1818 年就制造了一台铣床，但铣削加工在 40 年后的英国仍未得到实际应用，这主要是由于制造铣刀既费钱又困难。克拉克（D. K. Clark）在 1864 年指出，虽然使用回转铣刀的机床长期以来一直用于某些目的，一般来说，它们仅限于加工不适于使用单刃刀具的工件：

在某些情况下，装有圆盘刀具的牛头刨床已被人们用于对机械表面进行精加工，并且获得了很大成功。在满载荷的条件下，牛头刨床的加工量是龙门刨床的三倍。由于牛头刨床是自动的，几乎不需要照看，而且能工作六个月而不必磨刀。用制造得很标准的圆盘刀具切削出来的零件非常优良，尤其是复杂形状的零件。

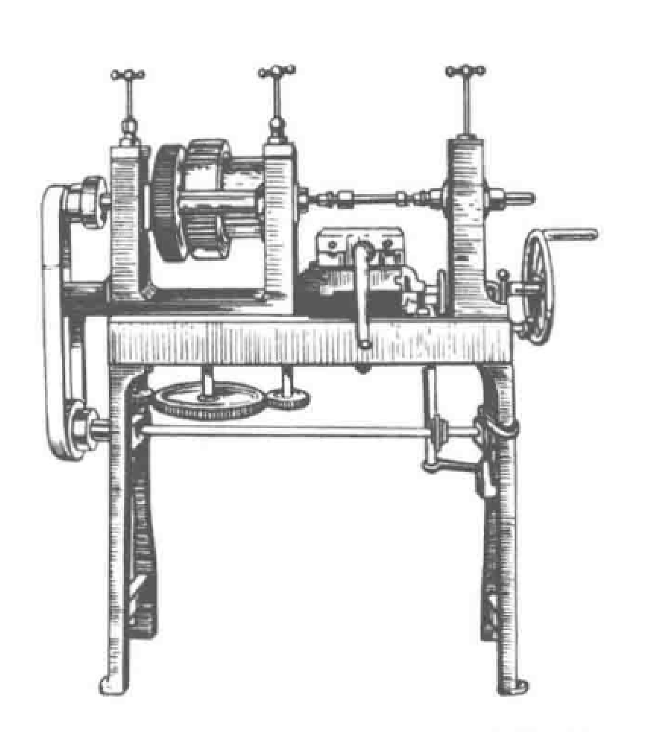



图 349　由豪设计改进，并于 1848 年由美国佛蒙特罗宾斯－劳伦斯公司制造的平面铣床。

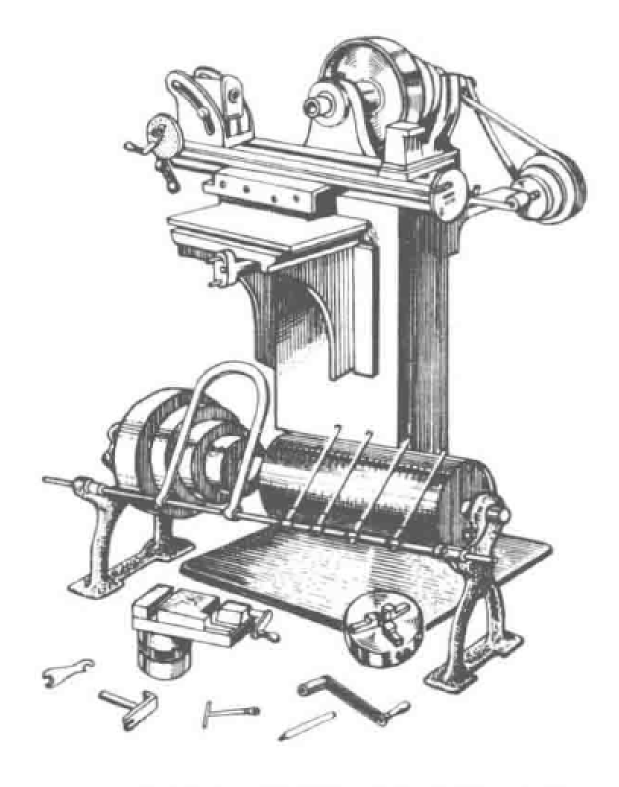


图 350　美国布朗－夏普公司制造的第一台万能铣床，1862 年。

19 世纪前半期，铣床在设计上有过好几次改革。早在 1840 年，美国就制造了一台带有垂直可调整主轴和简单分度装置[1]的铣床。这个时期的铣床底座常为木质，其上固定有铸铁滑板，滑板上安装有调整好高度的工作台，主轴和传动机构位于支柱上，可通过丝杆和伞形齿轮对它们进行上下调整。

653

1848 年，豪为罗宾斯－劳伦斯公司设计了一台改进型平面铣床（图 349）。主轴由塔轮和跨轮传动，工作台借助于齿条和齿轮来回移动。自动进刀则利用一个倾斜的凸轮轴来实现，这跟惠特尼在其铣床上所使用的类似。继平面铣床之后，1855 年又出现了林肯铣床，它安装了丝杆和螺母来移动工作台，不再像使用齿条和齿轮来移动工作台的铣床那样容易在开始进深刀时产生颤振。由于工作台安装在固定的床身上，移动主轴就可以调整工作台的高度。这种铣床的设计从一开始就很合理，甚至到 19 世纪末期也没有发生过实质性变化。

1　可以使工件转动所需的任何角度。

1850年刚过不久，豪制造了一台刀具滑板可调整、卡盘可转动的铣床，曾被英国轻武器委员会描述为万能铣床。它的铣轴位于安装在工作台上的主轴箱中，工件夹在虎钳中，虎钳由位于铣床前部的床身来支撑。床身可在竖直方向调整，并且能借助一块钻孔的板予以转向。通过手动装置或自动进给装置，主轴箱可以沿床身来回运动或横过床身运动。

美国布朗－夏普公司(Brown & Sharpe Company)在1862年制造的一台铣床，一直被公认为第一台真正的万能铣床(图350)。当初设计这台铣床只是为了取代那时首次使用的工具——钢麻花钻头上的螺旋排屑槽的手工锉屑工序。但是，当布朗(J. R. Brown)设计这台铣床的时候，发现它的功能远超出制造麻花钻的范围，于是研制出一台可用于多种工序的铣床，例如铣螺旋、切齿以及先前用手工方法操作的其他工序。动力进给通过丝杆施于工作台，借助安装在工作台上并与丝杆相啮合的万能分度头，可以确定工件转动速度与工作台横向运动速度的比值。万能分度头装有分度盘，所以在铣齿轮等零件时，铣刀能以预定的间隔在圆形毛坯上连续铣削。美国工程师很快察觉到这台万能铣床的许多优点，公司最初投产时简直无法满足对这种铣床的巨大需求。在很长的时间里，英国工程师们仍然喜欢使用龙门刨床和牛头刨床来加工平面。

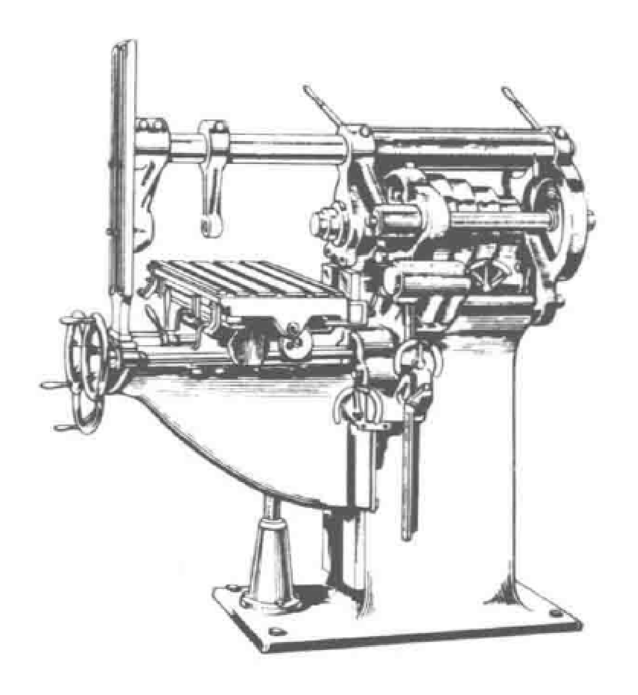


图351　于20世纪初制造的水平磨床样机。

铣床结构与加工方法和铣刀刃磨的改进，终于克服了英国在这一领域的守旧性。大约到1910年，英国的卧式铣床已达到相当先进的发展阶段(图

351）。但是，在铣床相对龙门刨床及牛头刨床的优越性上，还存在着相当大的争议。铣床最终之所以被采纳，主要是因为在使用组合的成型铣刀铣削大量不规则零件以及在使用螺旋铣刀切掉大量金属时，人们对于铣床的经济性评价较高。随着铣床的用途日益广泛，其速度和进给范围都需要拓宽，而这是利用塔轮和跨轮所不可能达到的，这就促使铣床制造者采用变速齿轮箱，以便对切削条件有较宽广的选择余地。不过，最初在铣床上安装变速齿轮箱时却遇到了困难，因为齿轮牙齿的不精确会引起振动，幸好后来对齿轮的设计和制造进行了改进，才逐渐使这种振动减小到可容许的程度。

磨床 1860年以前制造的简单形式的磨床，主要用于磨快切削工具或者给铸件和其他金属零件磨掉粗糙的边缘。当时的磨轮是用金刚砂和氧化铝这样的天然材料制成的，很容易磨损，并且使用也不自如，有时候甚至还使用砂岩磨轮。

1864年，克拉克强调了明显自认存在有缺陷的这种平面磨削技术：

为了正确评价通过刮削取得精确表面的重要性和价值，必须先回顾以前采用的金刚砂磨削法。如果检查经过磨削的表面，就会发现支承点旁边穿插有大量的不规则的孔，而这种缺陷是操作者无法控制的。磨削时使用的金刚砂会有一部分固定在金属的孔隙中，从而导致金属表面迅速出现不规则的磨损。由于磨削精确表面有点像自动的过程，操作者往往不够重视，责任感减弱。因此，磨削法曾经一度大大地阻碍了结构改进方面的进步。

655

19世纪60年代，美国研制出一种制造缝纫机零件的简单的专用磨床，几年后又研制出一种通用磨床。这种通用磨床具备现代磨床的许多特点，但它的用途还很有限，因为当时制造磨轮所用的磨料质量

低劣。人们在19世纪90年代合成了碳化硅，发现了氧化铝的磨削价值，用这两种磨料制成的磨轮，无论是在可互换性零件的成批生产方面，还是在夹具、精密量规和工具室其他器械的制造方面，都给磨削技术带来了彻底的革命。但是在英国，甚至到19世纪末期，使用磨削法加工机床导轨、轴承等还存在着很大的阻力，因为许多机床制造者和使用者认为，夹入磨削表面内的磨料颗粒会引起表面的迅速磨损。直到20世纪初期，这些担心才被证明是没有根据的，磨床因而很快成为各家工厂以精密的公差制造零件不可或缺的机床。

齿轮的生产 由于原动机、机床和机械装置的转速在19世纪得到了普遍提高，生产优质齿轮的问题便变得日益紧迫。在19世纪的大部分时间里，尽管人们为标准化作出了种种努力，不同制造商制造的齿形仍然存在很大的差别。摆线齿形的发明是这方面的一个重大进展，但由于齿轮基圆的直径通常以特定齿轮系的最小齿轮的基圆直径为基础，所以在发明渐开线齿形之前，一直未能实现充分的可互换性。虽然美国的布朗－夏普公司早在1877年就制造出自动切齿机，但在19世纪90年代，大部分齿轮的齿可能仍用成型铣刀铣出。不过，那时的齿轮制造技术正在取得其他一些重大突破。

656

1856年，希尔（Christian Schiele）构思出了一种滚铣法，让成型铣刀与转动的齿轮毛坯同步转动来铣削齿轮的牙齿。但直到1887年前后，第一台滚齿机才制造出来，同年，美国人格兰特（G. B. Grant）为正齿轮滚齿机申请到了专利。10年后，德国人普凡特（Hermann Pfauter）制造出第一台万能滚齿机，用于滚铣正齿轮和螺旋齿轮。在此后的几年里，滚齿机得到了极大的发展，这主要是由于一些国家的汽车工业日益发展而要求提供更好更便宜的传动齿轮。但是，滚齿刀制造误差所造成的轮齿的不准确性还在带来着困难，并且一直持续到1910年左右，这时用磨削方法精加工的滚齿刀开始得到了普遍应用。此前，滚齿刀在软钢状态下被加工到所需要的形状和尺寸，然后进行

淬火，但是在使用前不进行磨削。这样做的后果是，因金属的变化和热处理的变化所造成的滚齿刀的不准确性，最终都会反映到滚出的轮齿上。1896 年，兰彻斯特（F. W. Lanchester）制造了一台加工汽车蜗杆和涡轮的滚齿机，这是英国第一批滚齿机之一。同年，费洛斯（E. R. Fellows）在美国发明了一种结构复杂的新型刨齿机，他以前是一名橱窗装饰工，实际上没有受过技术训练，也没有车间工作经验。

伞齿轮刨齿机进展中的一个早期阶段示于图版 40A 中，这是巴克（J. Buck）在 1895 年发明的第一台能同时加工轮齿两面的刨齿机。两把刀具和两把刀夹靠曲柄的运动同时作往返运动，刀架滑架沿着轴线转动，使刀具沿着集中在节锥顶点的轨迹运动。在每一个切削行程之后，齿轮要转换一个齿间隔，直至沿着齿轮毛坯加工一圈为止，然后向着切削工具进给滑座，进行下一系列的切削加工。齿形是一个近似于渐开线的圆。

在 1900 年后的很长一段时间里，机床的设计和结构很少发生根本性的变化。但是，由于在 20 世纪 30 年代出现了连续自动工作机床，以及在 20 世纪 40 年代大体上实现了机床自动化，机床工业发生了一场革命，很快改变了机械化生产的整个格局。

657

相关文献

[1] Smiles, S. 'Industrial Biography, Iron Workers and Tool Makers', p. 299. Murray, London. 1908.

[2] Nasmyth, J. 'James Nasmyth, An Autobiography' (ed. by S. Smiles), p. 422. London. 1897.

[3] Hubbard, G. *Amer. Mach.*, *Lond.*, 60, 273, 1924.

参考书目

Clark, D. K. 'The Exhibited Machinery of 1862: a Cyclopaedia of the Machinery represented at the International Exhibition.' London. 1864.

Hubbard, G. "Development of Machine Tools in New England." *Amer. Mach.*, *Lond.*, Vols 59 and 60, 1923, 1924.

Kimball, D. S. "The Master Tools of Industry." *Ibid.*, 60, 679–83, 1924.

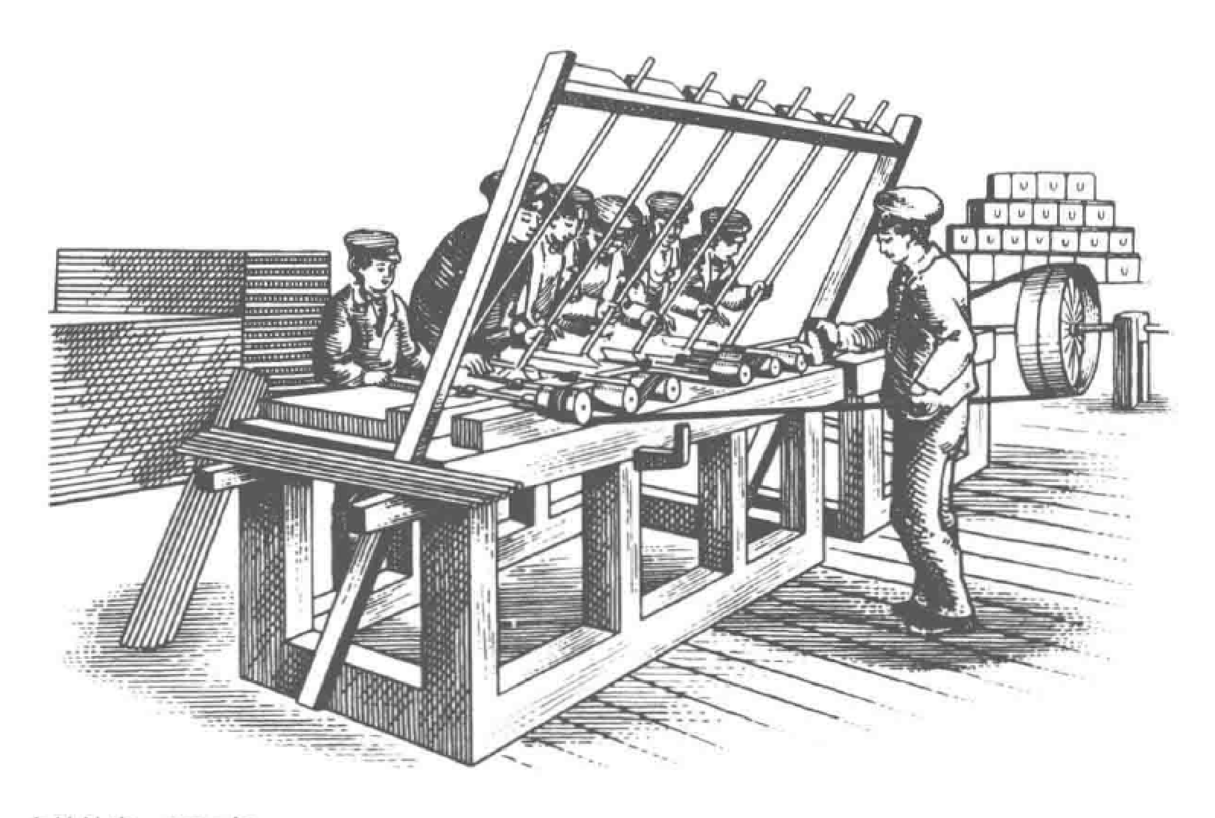
Nasmyth, J. 'James Nasmyth, An Autobiography' (ed. by S. Smiles). London. 1883.

Parsons, R. H. 'A History of the Institution of Mechanical Engineers, 1847–1947.' Institution of Mechanical Engineers, London. 1947.

Roe, J. W. 'English and American Tool Builders.' Yale University Press, New Haven. 1916.

Smiles. S. 'Industrial Biography, Iron Workers and Tool Makers.' London. 1863.

Tomlinson, C. (Ed.). 'Cyclopedia of Useful Arts.' London. 1852–4.



多轴钻床，1851 年。

第27章　陶瓷工业

艾林·詹姆森（IREEN JAMESON）

在任何工业领域里，工业革命都可以说是从机器代替了大部分手工劳动的时候开始的。韦奇伍德勋爵（Lord Wedgwood，1872—1943）在其著作《斯塔福德郡的陶器制造业及其历史》（*Staffordshire Pottery and its History*）中提出，19世纪70年代可被看作机器进入陶器制造业的时期。他的这个论点一直受到多方面的反对，只要观察一下乔赛亚·韦奇伍德（Josiah Wedgwood，1730—1795）时代陶器制造（第Ⅳ卷，第11章）取得的进步，就不能不承认那里的工业革命是在一个世纪以前就开始了。但在我们现在所考察的这个时期，陶瓷工业发生了非常深刻的变化，这既有生产和材料变化方面的原因，也有对陶瓷工业提出新要求方面的原因。反过来，陶瓷工业产品又使其他领域的新工艺有可能成为现实，这种相互

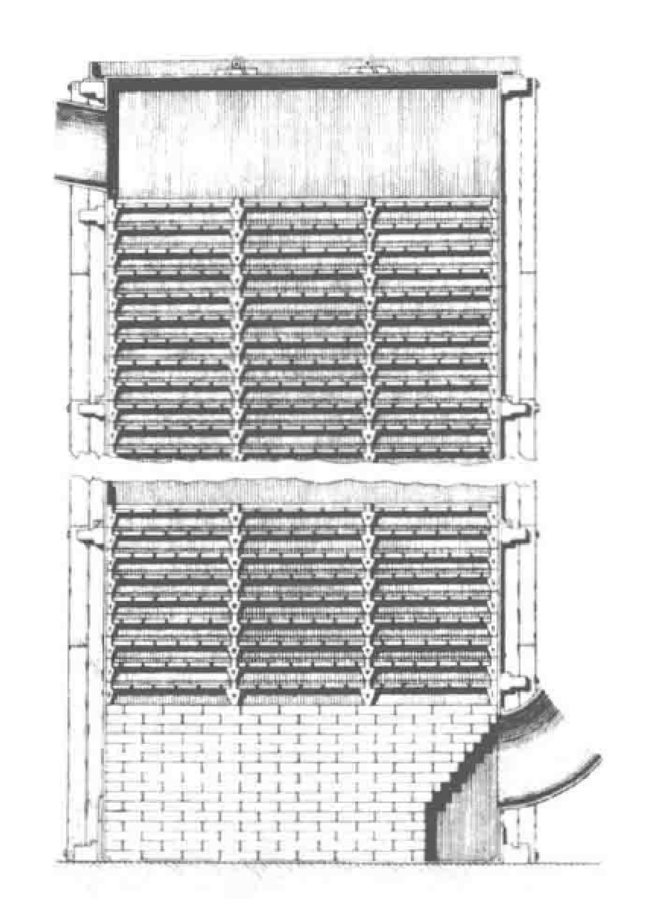


图352　硫酸生产塔。

依赖关系在化学工业、电气工业和冶金工业上表现得特别明显。应当永远记住的是，越来越多的陶瓷产品并非用作诸如餐具或墙面砖这样的终端产品，而是用作其他工业的辅助产品，例如高炉需要耐火材料内衬，化学工业需要巨大的储存容器、耐酸泵和反应器内衬（图 352），电气工业需要绝缘体和电阻器。这些东西以前几乎全部用陶瓷制造，现在大部分仍用陶瓷制造。

产品使用范围大幅扩展，原有产品的质量和数量有了提高，新品种不断涌现，新的或经过改进的制造方法相继出现，这是 19 世纪下半叶陶瓷工业发生的变化。

毫无疑问，主要的变化发生在由经验期（大体上到 1870 年）向日益科学化的时期转变的年代里。这并不是说在 19 世纪 70 年代以前，没有进行过非常精确的“科学”实验和研究，并且没有把这些实验和研究应用到陶器工业上，也并不意味着在 20 世纪下半叶的今天，众多陶工师傅不必“靠感觉”来评判黏土。然而，总的说来，在 19 世纪的最后 25 年里，科学在陶瓷制造业上起着越来越重要的作用。

659 由于越来越多地采用科学方法，产生了对陶瓷工程师、陶瓷技师这些新型陶工的需求，无论用什么样的称谓，他们都不仅有制陶的丰富经验，而且接受过严格而专门的训练，能对原料进行研究，并为许多工艺问题提供答案。其中，有许多问题已经存在了好几个世纪，但是从前的人们没有认识到它们的本质。由于需要受过训练的人员，建立了研究陶瓷的专科学校、学院和大学院系。但是，在 19 世纪末期以前，陶瓷工业总的说来并没有进一步成为一个单列的界限明确的研究领域，甚至到今天也没有达到专门化的地步。一些老式的制陶厂——埃特鲁利亚的韦奇伍德（Wedgwood）制陶厂、维也纳制陶厂和塞夫尔（Sévres）制陶厂，在很久以前就创办了自己的“学校”，但这段时期全欧洲都建起了独立的学院。到 19 世纪末期，这样的办学运动已扩展到海外。1894 年，俄亥俄大学创办了一个小型的陶瓷系。

27.1 科学发现

陶瓷工业的科学研究集中在 3 个主要课题：

（1）所用原料的性质；

（2）控制陶瓷制品制造的方式；

（3）用于以上两个目的的仪器的研制。

几乎在同一时间内，早年追求真理的研究者们各自独立地获得相同的或很相似的发现，印刷术的发明和随之而来的知识迅速传播，增加了发生这种情况的可能性。因此，若是把“科学制陶术之父”这样的荣誉都归于一个人，那是不公正的，但至少应该把很大一部分荣誉归到西格（H. Seger，1839—1894）名下。西格研究过化学，并在各种行业里工作过一段时间，他后来把余生都贡献给了黏土工业，创办了两份专业期刊，建立了一个著名的实验室。

660

在西格之前，这个领域里另有一些声名卓著的人士。例如，伦敦的格雷厄姆（Thomas Graham，1805—1869）堪称胶体化学（这个名称大约是在 1861 年开始出现的）的创始人。1866 年，维也纳的鲁佩尔－埃尔斯纳（W. Rupert-Elsner）通过观察认识到硅石在加热时比重的变化。奥特弗耶（P. G. Hautefeuille，1836—1902）主要在法国对各种形状的硅石及其变体进行了研究，并在 19 世纪最后二十年里发表了研究成果。在英国，克罗姆奎斯特（A. W. Cromquist）对硅石及其他耐火砖第一次进行了显微镜研究，并在 1884 年发表了研究结果。梅勒（J. W. Mellor，1869—1938）在填补科学知识的空白方面做了许多工作，研究了为什么特定的陶瓷材料在不同的条件下会产生特殊的效应。在仪器方面，西门子（C. W. Siemens，1823—1883）在 1871 年首先提出了使用电阻高温计测量炉温，但人们对它的兴趣没有维持多久，很快就遗忘了，只是在勒夏特利埃（Le Châtelier，1850—1936）1894 年研制高温计时才重新想起来。与此同时，理论方面的研究也在开展，吉布

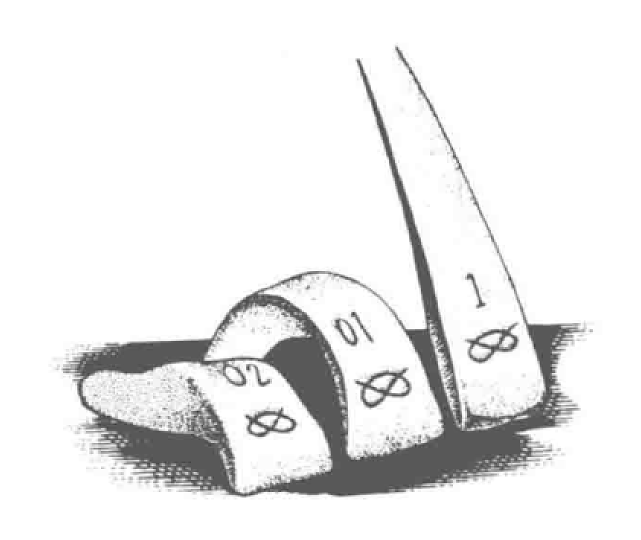


图 353　西格的测温锥。

斯（Josiah Willard Gibbs，1839—1903）于 1878 年在耶鲁大学系统地表述了相律[1]。

然而如上所述的是，西格做了大量开创性工作。1872 年，他建立了一套克服多孔坯体产生裂纹倾向的规则，即调整胎和釉的膨胀系数。这些规则包括增加石英含量、细磨石英和其他组分煅烧石英、提高素烧温度；减少胎体内黏土的含量、用球土代替瓷土和增大非塑性组分对塑性组分的比例。

两年后，西格发表了黏土的“示构分析”，人们常把它称作“西格分析”。按照西格的分析方法，所有的材料分为黏土、石英和长石。至今欧洲大陆还在很大程度上采用他描述配料的方法，这是西格获得成功的标志。他的另一项发明是测温锥（图 353），这种锥体在他的题为“测量陶瓷工业窑高温的标准锥之组成”的文章内有所描述。他的发明主要涉及陶瓷材料的熔融度，而不是专门的温度测量。这种测高温的方法非常简单，把具有特定组成的测温锥并排放在窑内的耐火支架上，通过窥视孔可从窑外观察到测温锥在窑内的情况。当温度达到一定的程度时，相应的测温锥就会弯曲并最后熔化[2]。奥顿（Orton）仿造了这种测温锥，在美国和英国也有许多人进行了仿造。1882 年，劳思（Lauth）和沃格特（Vogt）在塞夫尔采用了他们自己的测温锥。但从根本上说来，这些测温锥不过是西格测温锥的变体或改良品而已。

661

1　相律描述了“相”之间的平衡条件。所谓相，就是指多相系统中的清晰的、机械上可分的均匀的部分。冰、水和水蒸气便形成这样的由三相组成的系统。

2　这样的锥按“锥号”予以分类；例如，1 号锥在 1150℃左右熔化，而 42 号锥在 2015℃左右熔化。

27.2 餐具和艺术品

对普通公众来说，陶瓷制品意味着陶器，而陶器通常意味着餐具。想一想18世纪以来保存住的珍品（第Ⅳ卷，图版16—19），可能乍一看，似乎觉得没什么改进，但实际上在两个主要方面取得了相当大的进步。一方面，由于掌握了大量的组成和烧成的科学基础，人们获得了更好的陶瓷胎和釉。另一方面，机械化成批生产的技术和大型运输设备的出现，使物有所值的廉价餐具进入了每一个家庭。在改进产品质量的种种努力中，必须率先提到的是从釉中清除可溶性铅的成功。这场旷日持久的运动最先由英国发起，但议会直到1913年才通过了与此相关的法规，此后又历经数次修改，到19世纪末期，无论陶瓷工人还是上釉制品的使用者，都可免遭铅中毒的威胁。

从艺术上说，釉也有了巨大的进步。1861年，德克（J. T. Deck，1823—1891）在巴黎制造出了一种具有重大价值的波斯翠蓝彩料，这种彩料最后以他的名字命名为德克蓝。与此同时，克莱门特（Clement）在哥本哈根研究出了艺术品用的带色结晶釉，这座城市的皇家制造厂至今仍以陶瓷制品的美丽而著称。人们还使用了新的着色剂——例如铀（1853年），同时通过控制窑内气压来巧妙地运用新的火焰斑点效应（西格，1890年）。虽然在陶器上印花的方法早在1756年就得到采用（第Ⅳ卷，边码354），但刚开始时只有一种颜色。“图案彩绘法”始于1846年，普拉特（Felix Edwards Pratt）于同年获得了一项专利。金边烧制法在1851年被发明出来，当时令人赞不绝口的制品有迷人的小油膏盖子和润发脂瓶（图版1、图版2）。10年后，斯托克的休斯（Hughes）采用了金色彩烧法来装饰陶器。 662

从远东进口的瓷器刚一出现，欧洲的陶瓷匠便纷纷进行模仿。有些人几近成功，有些人则生产出了与原样迥然不同但颇受公众欢迎的产品。后来，瓷器的秘密被公之于世，人们研制出了多种多样的瓷器（第Ⅳ卷，边码336）。例如，1862年，波希米亚的斯特尔玛切

尔（Stellmacher）制造出一种含 0.8% 钾长石、按 8 号或 9 号锥烧成的坯体（现在仍然按他的名字命名）。1879 年，美国特伦顿的勒诺克斯（Lenox）首次烧制出贝利克瓷器，后来被称作勒诺克斯瓷器。塞夫尔曾独享著名的泥浆堆花浮雕（pâte-sur-pâte）法长达 100 多年，1878 年最终在迈森仿制成功。直到 1866 年，欧洲的骨灰瓷还都是在英国烧制的，后来瑞典奥德堡的陶瓷厂开始大规模地生产，并对胎作了重大改进。在英国，瓷制品是单个烧成的，而在瑞典，匣钵内可挨个垒起 8 个甚至 10 个餐具。相当奇怪的是，韦奇伍德直到 1878 年才开始制造半透明的瓷器。

制造厂一旦学会了制造瓷器和硬质瓷器，自然就会用这些材料来试制新的瓷制品。1851 年万国博览会首次展出了许多此类产品，其中有当时最大的瓷盘。这个瓷盘是在匈牙利海伦德由福尔考什哈齐－费舍尔（Moritz Farkashagy-Fisher）烧制的，周围是仿篮编的边，中间是用中国技法画的匈牙利历史场景。维多利亚女王对这个瓷盘非常感兴趣并订购了一整套餐具，匈牙利陶瓷厂因而能进行稳定的生产，制造“维多利亚”餐具达数十年之久。与此同时，意大利的多纳蒂（G. Donati）制造出了“奥卡利那”长笛（1860 年），音色之精美清晰令人称赞不已，但遗憾的是，这种长笛太容易破碎，所以并不那么受欢迎。随着烧成技术和窑炉的改进，人们便有了制造越来越大的制品的想法。1885 年，雕塑家安德烈森（Andresen）设计了一种瓷制壁炉并在迈森制造出来。壁炉四周精心装饰过，壁炉面饰上有一面大镜子，周围饰有许多小雕像和天使，并安着 4 个烛台。高潮出现在 1900 年巴黎举行的万国博览会上，塞夫尔市在那里展出了一个“陶瓷宫殿”，外部用当时能制造出来的经过最精细加工的建筑陶瓷铺就，内部则完全是瓷制的（图版 3）。但是，当时的人们已经认识到，瓷本身并不适用于规模宏大的建筑，尽管陶瓷宫殿表明它所做到的已臻完美。

663

27.3 电气陶瓷、化学陶瓷和炻器

在这段时期，人们没有忽视对瓷器的电气性质和化学性质的研究，瓷器及其有关的材料在相应的工业领域里取得了巨大的进展。在19世纪50年代，电杆上的钟形绝缘子在全世界得到了应用。随着照明电使用的迅速扩大，各式各样和各种大小的陶瓷绝缘子的需求量与日俱增，这给生产带来了新问题。成批生产是必经之路，但它要求很高的尺寸精度和质量标准。显而易见的是，模压成型可以解决一些问题。为了避免收缩和变形，人们对干压法进行了深入的试验研究，当时的注意力主要集中在模具的润滑、模具的结构以及模具的使用方法。人们尝试用植物油和矿物油进行润滑，但最后取得的重大进展纯粹由于一次偶然事件。1878年，德国萨尔费尔德的赖斯曼（Reissmann）往干瓷坯内滴入了一种太阳油（分馏页岩油时获得的一种中间馏分）与坯体相混合，最后压出来的制品比这之前生产出来的任何制品都优良得多。尽管当时有许多困难要克服，而且现在仍然有许多困难要克服，但自那以后一直用润滑油与坯体相混合。

与此同时，英国和美国——一定程度上还有瑞士——都以越来越大的规模制造高压瓷器和低压瓷器。此前，一度曾使用过称作滑石或皂石的软天然矿物，但只是到了1888年这种材料才以粉末状形态与熔剂相混合，首次用在电气工业上，被人们视同其他的陶瓷材料。从那时起，它在电气工业中一直占有一席之地。

1891年，沃伊特（Voigt）观察到瓷器装饰带上的金仍保持其导电能力，虽然基于这一原理的电阻器使用的是金以外的金属，但正是由于这一观察才开辟了一

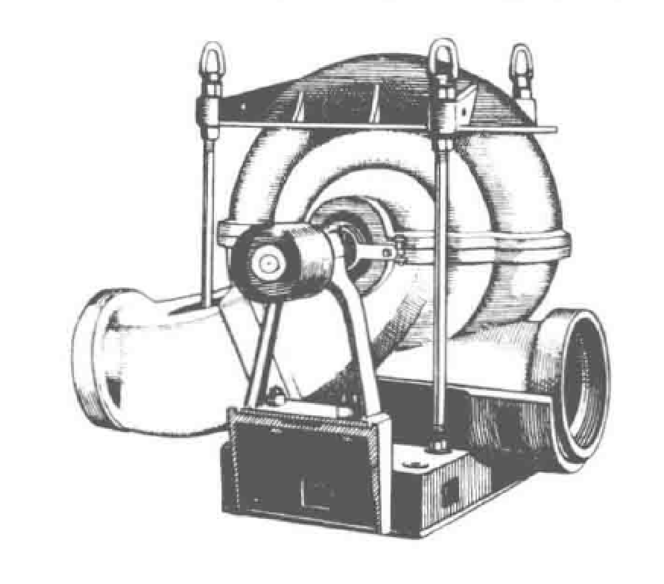


图354　耐酸炻器排气管。

个新的领域。与此同时，以内燃机为基础的新兴工业对陶瓷的需求越来越迫切。1888 年，因发明了火花塞的绝缘材料，俄亥俄州哥伦布市的尚克（H. K. Shank）获得这一领域的第一项专利。适于用作绝缘材料的有云母、锆石、玻璃、陶瓷、纯净黏土和滑石。

长期以来，陶瓷工业和化学工业一直相辅相成，甚至在依赖程度比以前稍有改观的今天，许多化学反应也只能在陶瓷容器内或以陶瓷材料为内衬的容器内进行。在生产酸的过程中尤其离不开陶瓷（图 352），化学炻器能耐任何浓度的一切冷酸（氢氟酸除外）和大部分热酸，生产酸的罐、管、泵和排气管（图 354）均用陶瓷材料（主要是炻器）制作，或使用陶瓷材料制作的内衬。1861 年，布丰（Nadoud de Buffon）曾获得一项饮水用瓷过滤器的专利。那些实验室、工厂和车间用的耐化学作用的砖和瓦，被大批地投入了市场。

27.4 耐火材料

1856 年，贝塞麦（Bassemer）宣告了他的新炼钢方法的诞生。所有的熔炼过程都必须在炼钢炉里进行，而炼钢炉必须衬有耐热、耐熔渣、耐气体、耐酸、耐熔融金属的衬里。由于普通黏土具有一定程度的耐火性，人类自从第一次学会冶炼以来，就一直使用着某种类型的耐火材料，但在 1860 年至 1914 年期间，奥地利菱镁土成了最好的一种。1860 年，奥地利菱镁土在莱奥本首次用作转炉的内衬，不久就用黏土作黏结料制成了以菱镁土为基料的砖。法国、英国和德国同时用当地的材料进行了试验，但制造出来的产品质量差且成本又特别高。最后，奥地利施蒂里亚的结晶菱镁土占领了整个市场，一直到第一次世界大战供应被切断为止。1885 年，俄亥俄州克利夫兰的奥蒂斯公司（Otis Company）为美国进口了第一批 800 吨奥地利菱镁土。到 19 世纪末期，这涓涓细流已变成了滔滔洪水。

与此同时，人们正在对白云石这一更丰富、更便宜的材料进

行研究，以便用它来代替菱镁土。但是，这种材料有许多缺点，其中有的是制造厂无法克服，而有的则是制造厂当时认为不值得克服。只是在菱镁土中断供应时，白云石才乘机占领了很大的市场。在菱镁土恢复供应后，由于它的价格较高，白云石依然在市场上站稳了脚跟。

碳和纯硅石也被用作耐火材料，例如英国于1863年首次生产出了碳砖。在经过实验之后，法国终于用合成的非晶质或微晶质材料制造出了硅－碳砖。

27.5 建筑材料

也许人们还没有普遍意识到，现在大家熟悉的许多类型的砖和瓦的实际使用时间还不到100年。随着工厂的增加和高层建筑物的建造，着火的危险日益增多，所以制定了要求用不可燃材料建造地面和屋顶的规程（第Ⅳ卷，第15章）。普通砖太重，并不适用，因此空心砖（图355）的使用越来越普遍。空心砖在19世纪50年代问世，但

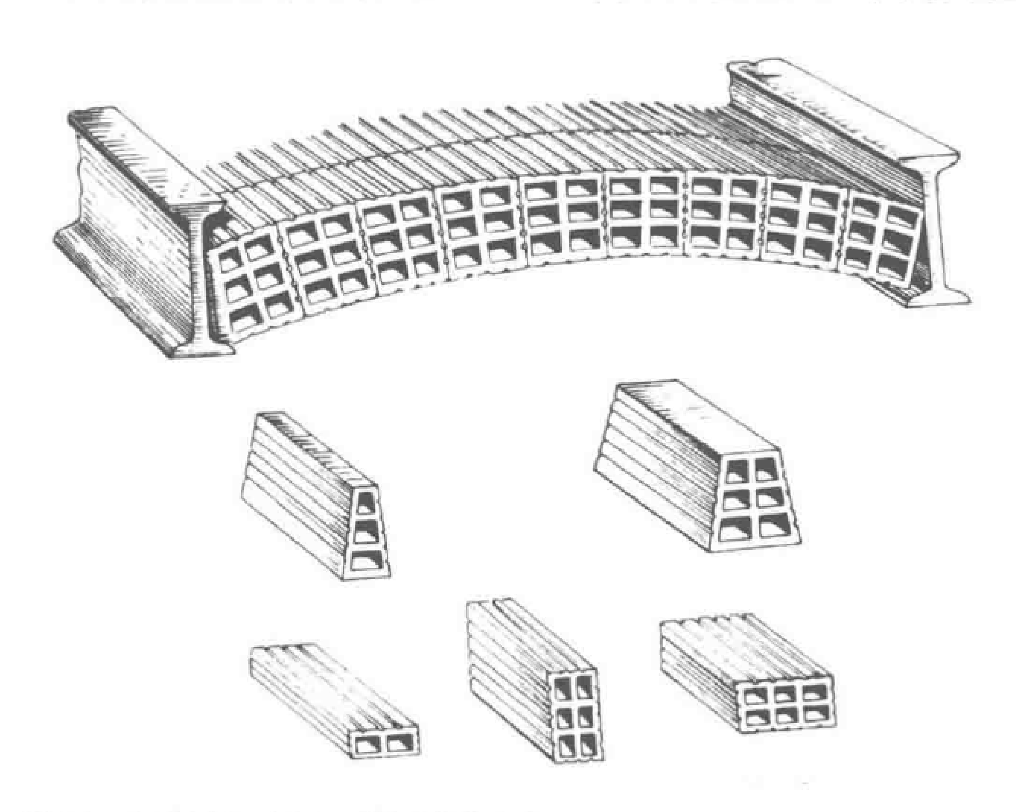


图355　轻质间壁、地面、天棚用的孔板砖。

当时还没有发明较好的机械化生产方法。有一段时间克罗特(Antoine Félix Crotte)一直在研制空心砖，但为了发明理想的制砖机他差不多耗费了十年时间。当发现施里凯森(Carl Schlickeysen)居然捷足先登时，他一定非常失望。屋顶建造同样存在重量问题，所以阿尔萨斯的吉拉尔多尼(Gilardoni)在1841年把一开始还很不完善的联锁屋瓦投入市场时，立即对建筑成本以及由茅草和石板向屋瓦的过渡产生了影响。

666 在同一时期，比较重的、更为烧结的砖得到了筑路者和建桥者的喜爱。美国、荷兰和德国是主要使用砖铺路面的国家，美国发明了铺设砖面路的专用机器。尽管100年以前主要道路的路基不再能承受现代陆路交通的高负荷和强振动，但砖铺路面本身被证明是非常耐磨且经得起日晒雨淋的。

27.6 原料

由于使用新的原料，耐火材料的生产和用途得到了非常可观的拓展。前面已经提到，在新的原料之中有奥地利菱镁土，人们还对白云石、硅石和碳砖进行了试验。后来又有三种耐火材料成了极为重要的材料。1888年，泰勒(William Taylor)在蒙大拿州本顿堡附近发现一种矿物，并称之为泰勒石，但这个名字以前就有人使用过，所以最后将这一新的矿物叫作膨润土。膨润土能够吸收比其本身体积多许多倍的水，在许多领域里得到了日益广泛的应用。尽管在其他许多地方发现了含有各种不同杂质的这种矿物的矿床，但时至今日从本顿堡开采的膨润土仍被认为是最佳的。膨润土的主要成分是蒙脱石，即水合的硅酸镁。

从罗马时代起，人们就使用莱博德普罗旺斯附近的岩石，主要用作建筑材料。这种岩石可以用作提炼矾土(最终提炼铝)的原材料，这是19世纪50年代的一项发现。虽然现在主要不在原发现地开采

了，但它仍然叫作铝矾土。矾土主要是用作提炼铝的材料，不过陶瓷工业上同样需要大量使用。烧结的矾土是迄今能生产的最硬的材料之一，因而广泛地用作切割和磨削材料，它能耐极高的温度并耐化学侵蚀。

第三种新原料是模纳土。1890 年，哥本哈根的波尔森（A. Poulsen）首先发现了它的绝缘性质。虽然在其他地区也发现了类似的矿物，但它至今仍是丹麦出口的重要原材料之一。模纳土是一种硅藻土，用它制造的空心构件具有很高的机械强度和耐火性，被广泛用于建筑业。

27.7 窑

667

最初，制陶厂都建在燃料供应地附近。19 世纪初，烧成 1 磅黏土需用 2.5 磅煤，所以陶瓷工业如何节省燃料并不是新近才产生的问题。除了降低煤总消耗量的问题以外，还存着提高烧成效率和减少煤烟的问题。老式的瓶式窑（图 356）使制陶厂周边的大气变得很糟糕，所以约从 1855 年起，许多国家进行了多次试验，以便利用煤气或发生炉煤气以及电（稍晚一些时候）在间歇式窑内来烧制陶器和大型黏土制品。霍夫曼（Friedrich Hoffmann）的名字是与连续式窑的发明紧密地联系在一起的。1856 年，他设计出第一座连续式圆窑，炉膛位于窑口，烟道则由待烧制的制品本身构成，火焰围绕着窑由一个开口蹿向另一个开口。1857 年，第一座连续式圆窑投入工业使用，霍夫曼因此在第二年获得了第一项专利。从连续式圆窑发展到连续式长燃烧室窑（图 357）仅一步之遥，第一座连续式长燃烧室窑 1864 年在德国康斯坦茨建成。这座窑一直使用到今天，其间仅稍作改装和修理。霍夫曼绝非唯一涉足窑设计革命领域的人。在一个必须考虑燃料经济问题的小国进行了一场真正伟大的设计变革——第一座隧道式窑 1839 年在丹麦建成。这座窑并不太令人满意，但人们意识到它的发

展潜力，所以并未放弃。1873年，出现了一座用发生炉煤气进行烧制的隧道式窑，不过它也可以使用煤来烧制。1877年，这种窑取得了专利，它的主要缺点是热通过活动地面时热量损失较多。后来，人们采用砂来隔热，终于克服了这个缺点。一年后，伦敦的一家工厂建造了第一座环状隧道窑，更经济地利用了一切可利用的空间。几乎是同一时间，在匈牙利建造的另一座窑也采用了这种设计。1889年，美国的第一座隧道式窑在芝加哥建成，用来烧制干压砖。紧跟着，荷兰建造了更大规模的窑。

在窑发展的同时，还进行了一场完善烧成的运动，发明了倒焰窑、烧制彩绘陶瓷的连续式窑及电加热窑。新获得的知识不仅用于烧成制品，而且也用于干燥。1881年，英国采用了加湿干燥耐火材料的方法，在各干燥室内尽可能紧凑地装入生陶制品，制品中间放置盛水器，然后将干燥室密封起来并从外面加热。只有当制品达到某一高温时，才会有蒸汽逸出，这时再输入干燥的热空气。这种方法非常成功，对那些用普通方法烧成很容易产生裂纹的大型制品尤其有效。这种干

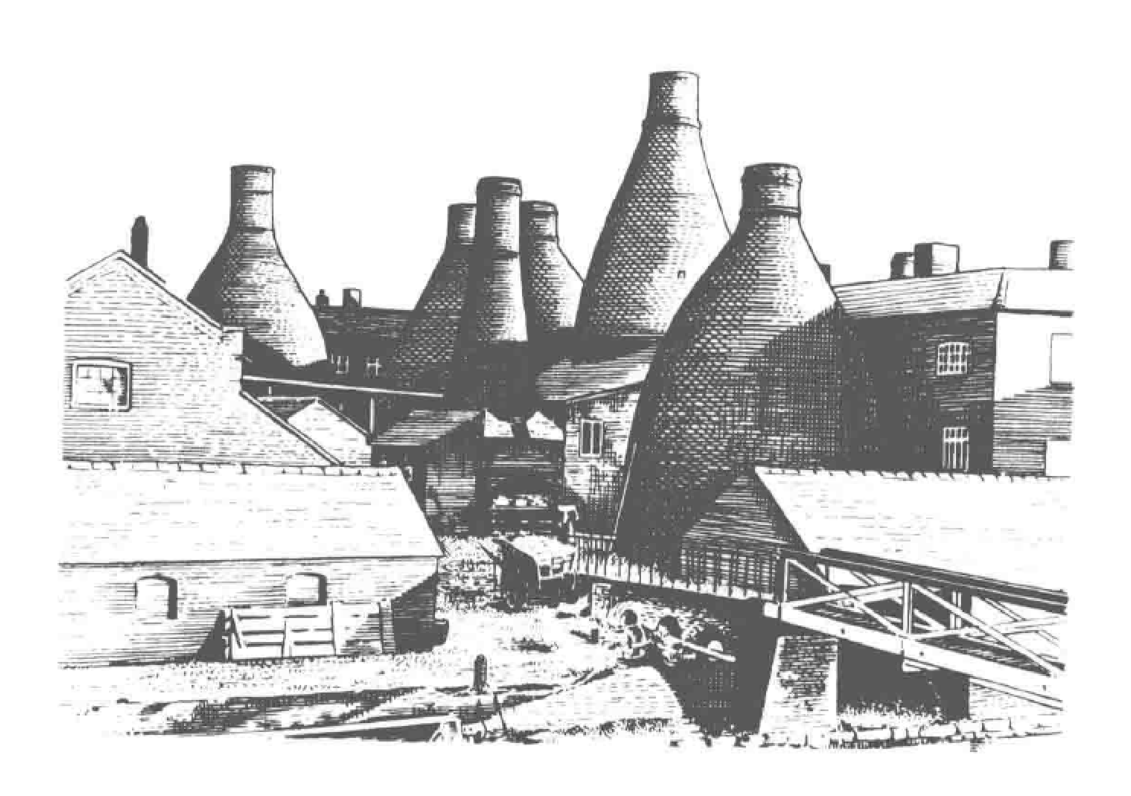


图356　瓶式窑，斯塔福德郡。

燥过程很快就被改进成连续式，用管子把逸出的过热蒸汽送到相邻的干燥室内。在19世纪最后25年的建造过程中，隧道式干燥窑历经了许多磨难，直到今天仍未获得很多人认为本应得到的支持。毋庸置疑，窑的建造与工程学有着密切的关系，它要求后者提供性能良好的新型装置用于地基、窑车、热空气泵、煤气发生器、余热利用、阀门和其他附件。

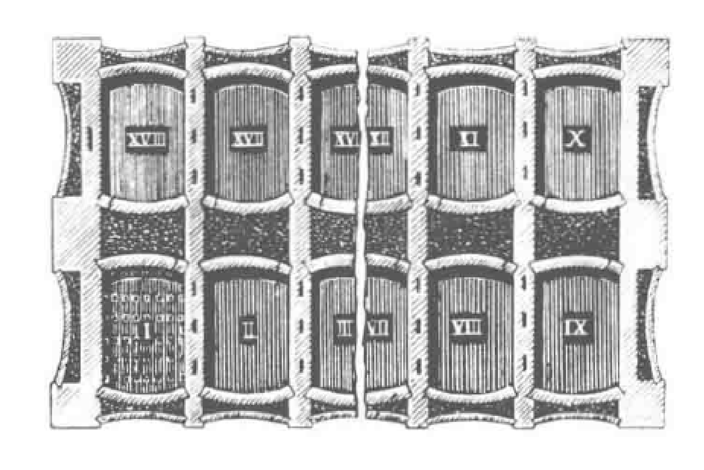


图357　连续式长燃烧室窑，19世纪晚期。各燃烧室轮流加热。

27.8　机械

在我们考察的这段时期内，动力已开始用于此前一直用手工操作的许多机械（图358）上。瓦特发明了用蒸汽驱动的加工陶瓷原料的研磨机、破碎机和搅拌机，并由伯明翰著名的Soho制造厂制造出来。不过，陶瓷成型依然要靠手制或浇注。这两种方法都很慢，并且由于含水量很高，坯体需要花较长时间进行干燥，因而产生裂纹的危险性较大，收缩也厉害，并需要较大的存放空间。

669

只有大大提高产量并使产品标准化，也就是说只有用机器生产，才能满足其他工业和普通百姓的需求。1851年万国博览会第一次展出了某些新型制陶机械，其中有制造炻器管的管压机，这种英国制造的管压机和早期的机械搅拌机全是立式的。管压机立即受到欧洲大陆各国的欢迎，许多国家都安装了这种机器。与此同时，德国萨尔的博赫（Boch）也对压机进行了研究，不过他研制的是制瓦机。1852年，他演示用一台水压机来代替当时已经落后了的轴式压机。法国兰斯的埃贝尔（Herbert）和德国柏林的施里凯森都对均匀搅拌材料的机械进

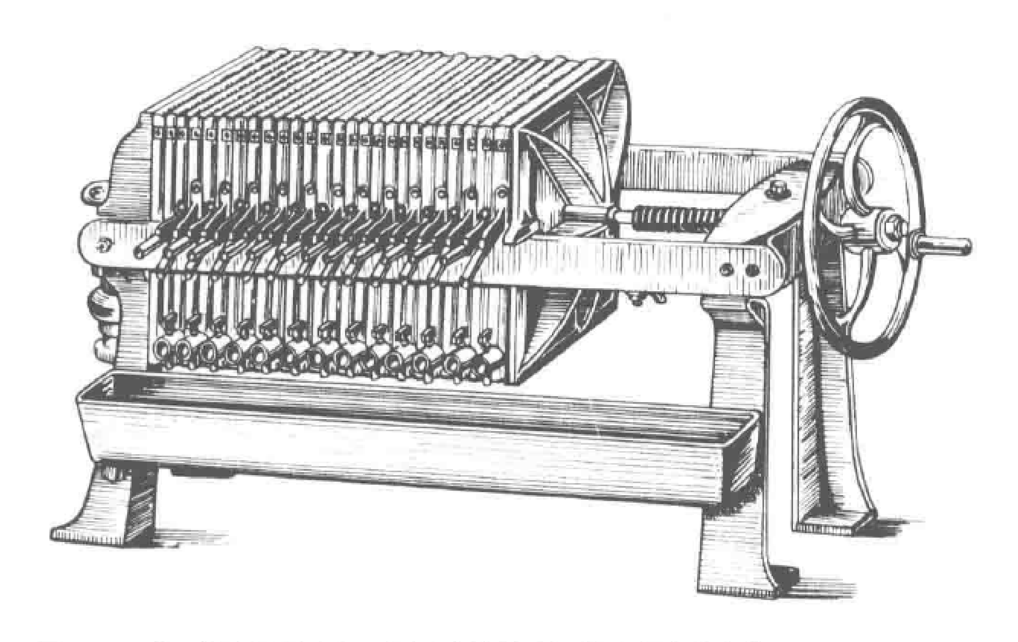


图 358　手工操作的压滤机，用于去除黏土坯体中多余的水分。

行了研究，前者在 1854 年巴黎博览会上展出了一台具有这种功能的螺旋式设备，后者在一年后造出了一台用于塑性坯体的真正的螺旋式搅拌机，这是一台用马驱动的立式搅拌机，施里凯森对他的设备继续进行改进，每隔几年便向陶瓷业同人推出经过改良的新型搅拌机，但许多年后它们才由立式改成卧式。到 1874 年，搅拌机里增加了辊子，几个月后又添了供水管口。在 19 世纪初，人们还发明了与陶工的陶轮配合使用的靠模。此前，陶瓷外形是靠工匠熟练的双手和眼睛来掌握的。

用机械方法磨碎和碾碎原料曾是陶瓷业内最早遇到的问题之一。早期蒸汽驱动的研磨机使得并不位于合适河流旁的制陶厂也能自己进行原料粉碎，不必再依靠较幸运的同行来提供粒度大小正好和数量适当的原料。1856 年，美国的布莱克（Blake）建造了第一台颚式破碎机。它有楔形的口，由两个颚组成，其中一个颚的上侧固定于水平轴，并依靠肘节杆齿轮进行移动，另一个颚则是固定的，破碎机口下部的空隙可用楔子调整。对这种机器做出的改进都是为了改善产生压力的齿轮机构，以便在实际操作中能利用尽可能多的动力，并把因摩擦损耗的动力减小到最低限度。

其他人则从不同的方向着手研究，并研制出用于干磨和湿磨的盘式碾碎机。1890 年，Kuhnert 涡轮机厂制造出零件可以互换的精细碾碎机。哥本哈根的戴维松（Davidson）建造了管式碾碎机。仅仅磨碎和碾碎是不够的，原料还必须经过筛和分选，为此专门建造了各种大型机械和小型机械，例如 1887 年芒福德（Mumfort）和穆迪（Moodie）制造的离心空气分选机。

如前所述，用于电气目的的陶瓷需求量很大，因此必须制造出合适的压机才能满足需求，制砖、制瓦、制家用器具等的情况也是如此。因此，巴黎的弗里莱斯（Schmerber Frères）1867 年首次展出了适用于陶瓷制品的旋转式压力机，这种压力机主要为制砖、制瓦而设计，十年后已达到非常完善的地步，在同类机器中保持领先地位近 20 年。尽管在许多方面表现优异，这种压力机和挤压机的出料口依然是一个薄弱环节。许多国家对改善出料口作出了贡献，试用了各种各样的材料，例如钢、各种合金、玻璃和陶瓷，并且对比了加润滑剂和不加润滑剂的情况，但时至今日，出料口的磨损还是一个亟待解决的难题。

参考书目

Bourry, E. 'Traité des industries céramiques.' Gauthier-Villars, Paris. 1897. (See also. Eng. trans.: 'Treatise on Ceramic Industries.' Scott, Greenwood, London. 1907.)

Kerl, B. 'Handbuch der gesamten Thonwarenindustrie' (3rd ed.). Vieweg, Braunschweig. 1907.

第28章　玻璃工艺

R. W. 道格拉斯（R. W. DOUGLAS）

28.1　新的玻璃组分

如前几卷所述，1850年以前，玻璃工业一直是一门使用传统配方且工艺方法保密的手工行业，直到1900年才开始采用化学控制与机械化的生产方法。但这种艺术家与工匠联合起来用结晶玻璃制作优质餐具与装饰品的模式，无论过去还是现在都仍然是一个例外，尽管现在制备这种玻璃的科学控制方法已相当完善。

今天，玻璃工业几乎完全机械化了。由熔炉供料的机器每分钟大约可以制作50个玻璃瓶（具体数量取决于玻璃瓶的大小）。熔炉实际上是可容纳100—200吨玻璃液的大池，窗用平板玻璃则从可容纳多达1000吨玻璃液的更大的池炉中连续拉制而成。拉制时，连续的玻璃带有9英尺宽，拉制速度为每小时几百英尺。现在生产平板玻璃是让玻璃液又宽又薄地从熔炉中流出，经平板玻璃成型机压延后，再依次经过退火、研磨、抛光等连续工序。电灯泡则以每分钟800只的速率生产。虽然这些装置中有许多在19世纪末期以后才趋于完善，但这些装置的诞生显然在我们考察的这段时期内。

19世纪初期，玻璃生产者往往不能把各种碱区分开来。森林附近地区的人们，将燃木灰用水浸泡，经再结晶后就能制成一种粗碳酸钾（边码255）。但在海岸附近，使用海藻灰制得的则是一种主要成

分为碳酸钠的碱。虽然氧化钙是玻璃的另一种主要的碱性成分，但它似乎不是有意加入的，而是因为粗制原材料偶然进入玻璃中所致。在中古时期，某些玻璃的氧化钙含量竟高达20%。

1790年，吕布兰（Leblanc）发明了从盐里提取芒硝（硫酸钠）和苏打灰（碳酸钠）的方法（边码236）。最初，芒硝的价格比苏打灰便宜得多，加之在1860—1870年采用了西门子熔炉，使得玻璃制造业能获得比以前高得多的温度，因而能够更加容易地采用硫酸盐，所以苏打灰便开始被芒硝所取代。1863年，索尔维（Solvay）制苏打法的发明让这个倾向逐渐倒转过来。然而直到今天，一部分氧化钠还常以芒硝的形式加入到玻璃配料中，原因之一就是芒硝有助于防止在玻璃液表面形成硅质浮渣。

672

化学科学发展的结果使许多化学药品纯度日益提高，为系统研究玻璃配方铺平了道路。1830年，杜马（J. B. A. Dumas）指出，当玻璃配方接近于每6个当量的氧化硅含有1个当量的氧化钠（或氧化钾）和1个当量的氧化钙时，这种钠－钙－硅玻璃比较耐潮湿。1875年，本拉特（Benrath）提出，最耐用的玻璃的分子比应为1份氧化钠、1份氧化钙和6份氧化硅构成。这相当于玻璃的重量由12.9%氧化钠、11.7%氧化钙和75.4%氧化硅构成，该组分与现代窗用玻璃的组分非常相近。事实上，早期自动化机器用的瓶罐玻璃，其氧化钠的重量百分比通常为16%—17%，氧化钙为8%—9%，氧化硅为70%—72%，虽然现代玻璃接近于本拉特公式。但应当指出，一些少量的次量成分，例如氧化镁、氧化铝和氧化硼也起着重要作用。

钠－钙－硅玻璃一直占生产玻璃的绝大部分，19世纪下半叶的贡献在于为理解和改善3000多年来靠经验积累发展起来的配方而迈出了最初几步。此外，另一种问世较晚的配方也被采用，这种“铅晶质”工业中所用的铅玻璃，主要成分为55%氧化硅、32%氧化铅和12%碳酸钾。自从17世纪下半叶起就曾有人使用过这种玻璃，当时

称作“英国水晶”(全铅晶质玻璃)。1662年，梅里特(Merrett)翻译出版了内里(Neri)的《玻璃的艺术》(*Art of Glass*)一书，按照合同为玻璃销售公司工作的雷文斯克罗夫特(Ravenscroft)可能受到这个译本的启发，开始用铅做熔剂(第Ⅲ卷，边码219)，并在1675年首次制造出上面提到的铅–钾–硅玻璃。由于这种玻璃具有很高的折射率和优良的使用性能，所以直到今天仍然是高质量日用玻璃和装饰玻璃的基础。

为满足制造透镜系统对具有不同折射率和色散的玻璃(第Ⅳ卷，第12章)日益增长的需求，19世纪研制出新的玻璃配方，并且在19世纪下半叶取得了重要的进展。包括法拉第(Faraday)、夫琅禾费(Fraunhofer)、哈考特(Harcourt)和斯托克斯(Stokes)在内，好几个著名的科学家都在这方面进行过实验。但在我们所考察的这段时期内，最杰出的成就无疑当属阿贝(Ernst Abbé，1840—1905)和肖特(Otto Schött)合作研究的成果。1902年，他们共同工作的公司出版了一本描述他们研究成果的书，其中列举了大约80种各种各样的光学玻璃。

673

阿贝热衷于显微镜的改进，他在1876年发表的论文中指出，显微镜当时存在的局限性是由于缺乏依照他计算所要求的折射率和色散的玻璃。1884年，肖特说服阿贝跟他和卡尔·蔡司(Karl Zeiss，1816—1888)共同在耶拿创建了肖特父子玻璃厂(Schott & Sons)，到1886年7月便生产出商业用的新玻璃。当阿贝和肖特开始实验时，只知道硅、钾、钠、铅和钙等氧化物会对玻璃光学性质产生影响。经过短短的几年，硼、磷、锂、镁、锌、铝、钡、锶、镉、铍、铁、锰、铈、钕镨混合物、铒、银、汞、铊、铋、锑、砷、钼、铌、钨、锡、钛、铀和氟等28种新元素，至少按10%的比例加入到不同种类的玻璃中。这些实验也许并不成功，但无疑启动了玻璃配方发展的新阶段。除了光学性能之外，他们还研究了玻璃的其他性能，例如耐温度骤变的性能和抗化学药剂侵蚀的性能。像这

样一些问题，日后随着科学方法在玻璃工业中的日渐普及，都成了深入研究的课题。

1845 年，英国政府取消了玻璃的货物税，这对英国玻璃工业的发展和扩充是额外的推动力。这些法规摘录说明玻璃工业曾有过沉重负担——“每座拱形或隧道式的燧石玻璃退火炉……都被铁栅栏围得严严实实并配置了锁和钥匙。”“任何退火炉要想加热，都必须在 4 小时之前通知有关官员。”“准备给制造玻璃的熔炉加料，必须在开始加料前的 12 小时通知有关官员。”

当时的税收包括玻璃厂玻璃生产执照的年度税，玻璃池中熔化待用的玻璃按磅纳的税，以及成品玻璃重量超出熔化玻璃计重 40%（以后改为 50%）时按磅纳的税。玻璃厂内驻有税务官员，有位制造商曾这样描写他们的活动：“我们工厂置于税收官专横的控制下，我们不得不屈从这帮人的意志，听任他们的恣意妄为，简直太可恶了。未经他们的允许，我们不能进入自己工厂的许多地方。”难怪麦卡洛克（McCulloch）在 1833 年写道：“这种税收不仅阻碍我们同国外同行进行竞争，而且为所有的改进设置了障碍，因为要改进，就得进行试验，而对于头上压着 125% 重税的人来说，是不可能进行试验的。”

货物税取消以后，市场对玻璃的需要量与日俱增，再加上工人要求增加工资的压力，促使人们试图通过玻璃生产过程机械化的途径来降低生产成本。

28.2 玻璃瓶制造

各种结构的半自动制瓶机曾是 1859 年以后许多获准专利的主题。最初，这方面的专利起源于英国。德国的第一个半自动制瓶机专利出现在 1889 年，法国的第一个半自动制瓶机专利则在 1893 年获准。1887 年使用的一台半自动制瓶机首次获得了商业上的成功，这就是在约克郡的卡斯尔福德使用的阿什利制瓶机。

为便于阐明这些新机器的性质，有必要回顾一下手工制作玻璃瓶的过程。首先，取料工用吹管的一端从熔炉的熔融玻璃中取出所需量的玻璃，吹管是长达5英尺、外径为1英寸、内径为0.25英寸的铁管。接着，吹制工接过吹管，在滚料板（一块平坦的大石头）上滚压玻璃。经过如此成型和适当吹制后，玻璃料块就成了型坯。型坯是壁相当厚的空心玻璃泡，大小和形状与玻璃瓶成品很近似，但略微小一些。吹制玻璃瓶的技术主要体现在型坯的成型，而型坯必须随玻璃瓶成品要求的形状和玻璃配料的变化而改变。在铰接的铸模内把型坯吹制成型，型坯就变成了瓶子。在吹制工序结束后，吹制工把吹管连同上面的瓶子一同交给取下吹制件的工人，后者把玻璃瓶从铸模内取出，让刀形铁片上流下来的水落到玻璃瓶上，使玻璃瓶从吹管上断裂。在落水点（即最终成为瓶口的部分）的附近会产生许多小裂纹，尖细的水流打到吹管上，便会把玻璃瓶从吹管上打落下来。然后，修整工用一个铁棒端头上对开的铁圆筒夹住玻璃瓶，把玻璃瓶取走，再在爆口的周围卷上一缕热玻璃，使用一对钳子（图359）、一个凸模和一个外夹模具使玻璃瓶形成瓶口和瓶颈。最后，送瓶工把瓶子送入退火窑慢慢冷却，以防产生裂纹。各地的制作方法不尽相同，但主要操作工序大致相同。

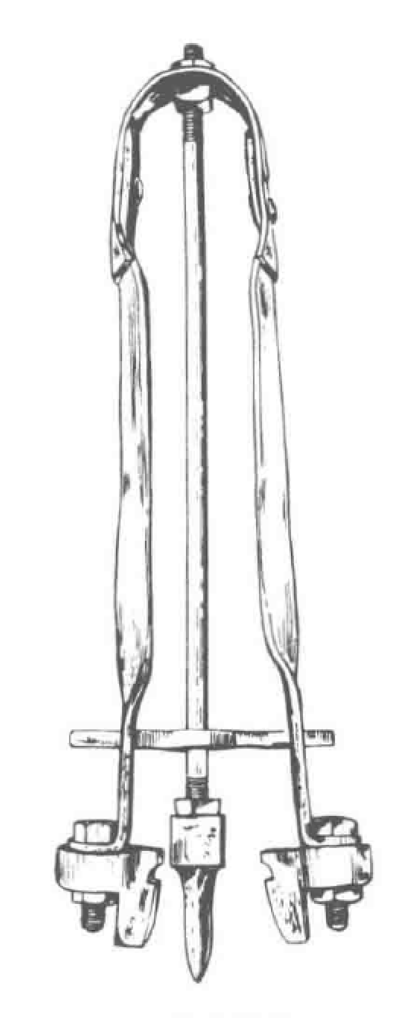


图359 做瓶颈的钳。

675

半自动制瓶机只需一名取料工和一名退火窑送瓶工。在阿什利制瓶机中，熔融玻璃料块从铁管滴入型坯铸模中，用一凸模向上压入铸模内玻璃中形成瓶颈。拔出凸模后，用一股压缩空气把玻璃液往上吹，使之充满模子，然后用手打开型坯铸模，移去铸模。把这时由瓶

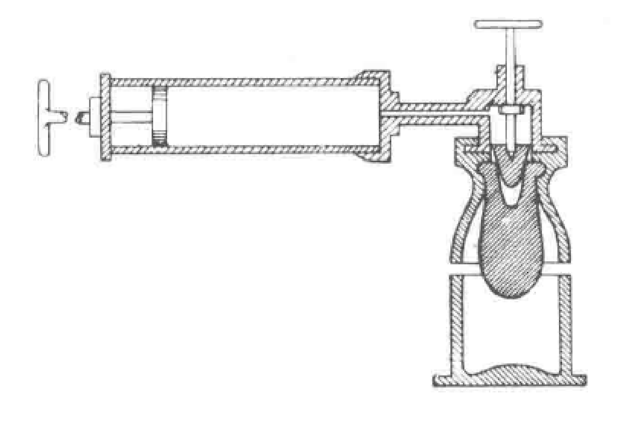


图 360　欧文斯手枪。

颈支撑的型坯倒置并安上吹制模，调好位置后用压缩空气吹制型坯，制成玻璃瓶成品。机器上安装有形成瓶颈的环形模、型坯模和吹制模，这是半自动制瓶机研制成功后每台制瓶机始终具备的特点（图版 4A）。

后来，制瓶机原型出现了几种变体，在一些改装过的制瓶机中，压制型坯替代了吹制型坯。这种方法用于制造广口的瓶、罐——在形成瓶颈后，用凸模挤压玻璃液，使之充满凸模和型坯模之间的空间。

由于半自动制瓶机获得成功，便需要发明某种机械装置代替取料工把玻璃液送到机器上，这一改进由欧文斯（M. J. Owens）完成。1898年，在美国建造了第一台试验机，操作方法可用他开始试验时使用的装置来说明，这个装置被称作欧文斯手枪（图 360）。这种手枪的中空圆筒约 3.5 英尺长，把它浸到熔融玻璃中，拉动柱塞，就能将玻璃液吸入型坯模内。用滑动刀切断玻璃，使之形成型坯模的底部，用凸模塑成瓶颈。接下来，将整个玻璃坯料送到工作台上，在那里靠颈模中的瓶颈吊着型坯，而型坯全被成型模包裹，把柱塞推入成型模中，玻璃瓶就会鼓起来。图中显示玻璃坯料及其外周的成型模。

在自动制瓶机中，铸模和辅助设施安装在旋转架周围的装置上。为向制瓶机供给玻璃料，机器配有一个直径约 10 英尺、深约 9 英寸的耐火浅罐，可接收从熔化炉源源不断淌出的玻璃熔流，并在炉外总保持有一部分玻璃液。型坯模浸入这一熔融玻璃贮罐内，并靠抽吸作用自动地充满玻璃液。型坯模是自动卸下的，它移去后型坯便靠环形模上的瓶颈悬吊，成型模合拢在型坯四周，经过吹制以后，玻璃瓶就制成了。

5 人一组的制瓶工人，用手工方法每小时能制造玻璃瓶 150 个左右。

第一台阿什利制瓶机需用两个工人，每小时制造的玻璃瓶数大体与上述手工操作持平。两个工人操作两台后期的阿什利制瓶机时，每小时能制造200个玻璃瓶，欧文斯10头制瓶机则每小时能生产2500个玻璃瓶。

虽然欧文斯制瓶机是第一台成功的全自动制瓶机，不过人们对是否取消进料工仍犹豫了多年。1885年，巴恩斯利的赖兰兹(Rylands)公司设计出一种供料装置，但仅获得部分成功。也许是因为稍微超前了点，直到多头制瓶机问世后，才使进料工的问题变得迫切起来。1901年，布鲁克(Homer Brooke)制造出了第一台成功的供料装置，而这种类型的供料装置在商业化生产中一直使用了20多年。这一装置是在熔炉的工作部增设一个凸出小室，玻璃液能通过设在小室底部的孔眼流入型坯模中。用空的型坯模更换充满玻璃液的型坯模时，需用一杯形罩切断玻璃液，这常会导致玻璃液冷却，而且在型坯模中充填不理想的玻璃液很容易产生气泡。

嗣后发明的供料装置能处理黏度较高的玻璃液，现代的供料装置则先将熔融玻璃料块初步成型，然后送入型坯模中。为了获得这种玻璃料块，供料装置制成长导槽的形状，长约为15英尺、宽约为2英尺、内深约为9英寸。导槽把玻璃液从熔化炉中引导出来，调整玻璃液的温度，并用一个柱塞把具有适当横截面的玻璃柱体从出料孔中推出去。用自动化剪刀每隔一定的距离把柱体切断，以便有连续不断的所需形状的玻璃料块送入铸模，用机器依次把铸模送到接收处。

677

压制玻璃制品的方法也取得了类似进展。它比吹制玻璃瓶简单，用来制作盘子、信号灯透镜、碗以及类似制品。在这种方法中，将适量的大致达到黄热状态的玻璃液引入铸模中，然后将凸模插入玻璃液里，把玻璃液压制成铸模内部和凸模外部所构成的形状。

28.3 平板玻璃

用古老的工艺方法(第Ⅳ卷，第12章)制造平板玻璃，历时数百

年几乎没什么改变，直到19世纪，人们才开始采用三种制造平板玻璃的方法。在第一种方法中，熔融玻璃被浇在框架上，用辊子将玻璃推平，随后再对这样的粗玻璃板进行研磨和抛光，这就是通常所说的“平板玻璃”。另外两种制造平板玻璃的方法是展宽制板法和圆球制板法。在展宽制板法中，先吹制一个玻璃大圆筒，沿着与中心线平行的一条直线将圆筒切开，在工作台上展开整平。在圆球制板法中，先吹制一个玻璃大圆球，将圆球切成碗形后趁热旋转，结果形成直径约5英尺的大而扁平的玻璃盘。英国生产的平板玻璃绝大部分是用圆球制板法制造的，质量比用展宽法制造的好。但是，1832年伯明翰的钱斯兄弟公司（Chance Brothers）着手用展宽法生产平板玻璃，改进了生产工艺，吹制的大圆筒长为6英尺，直径为16英寸，比欧洲大陆一般采用的尺寸大，并且在切割圆筒之前使它变冷。在冷却的状态下，用金刚石能够把玻璃切割得很整齐，随后再放在专门的加热窑中进行平整处理。1832年，卢卡斯·钱斯（Lucas Chance）开始按这种方法生产玻璃，并表现出高度的预见性，因为当1845年取消货物税时，面对贸易日益增长的形势，该公司处于非常有利的地位。1851年，钱斯兄弟公司为水晶宫提供了用圆筒生产的平板玻璃。这项工程是与将一批法国工匠带到英国来的法国玻璃制造商邦当（George Bontemps）合作完成的。

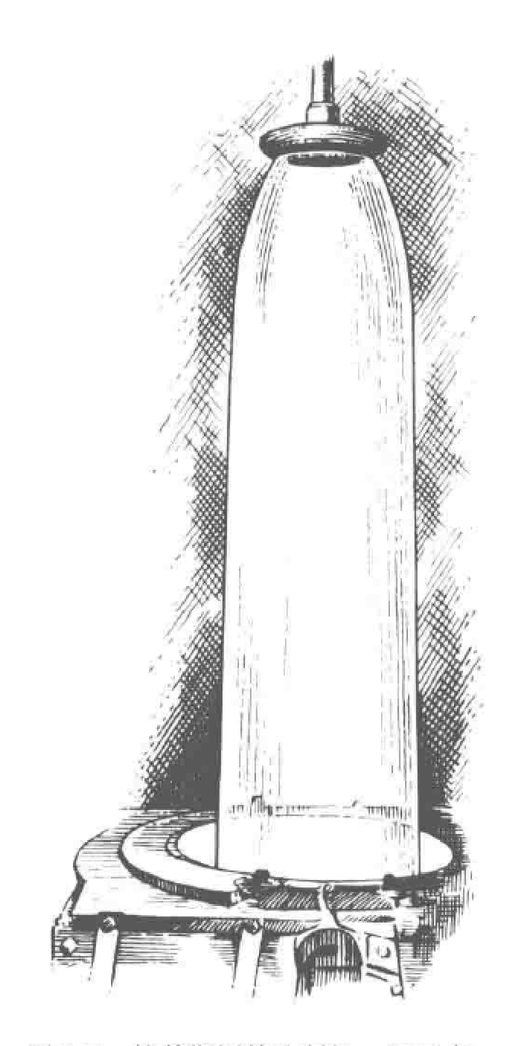


图361 柳伯斯圆筒吹制机，1903年。

1903年之前，用圆筒制玻璃板的工艺基本上没什么改变。1903年，美

国的柳伯斯（Lubbers）成功地制出机器控制的圆筒，其方法是从熔炉中舀出玻璃液，倒入窑顶上的一个双向坩埚中，并用煤气加热。坩埚的直径约为42英寸，每个约能容纳500磅玻璃液。用机器放低拉制管，伸入玻璃液内，玻璃液不会粘住拉制管，但会使管内边缘变硬。然后将管子上提，与此同时沿着管子吹入空气，把玻璃液吹成所需要的直径。通过控制空气压力和提拉管子的速度，就可以制成高为40英尺、直径为40英寸的圆筒（图361）。然后，把从中已拉制出圆筒的坩埚转过来，使下面的坩埚朝上，准备接收下一炉熔融玻璃料。单冷的坩埚连同玻璃圆筒拉成后，将剩余的玻璃料下翻并置于已加热的窑上，熔化掉剩余玻璃，并重新给坩埚加热，以备拉制下一个圆筒。

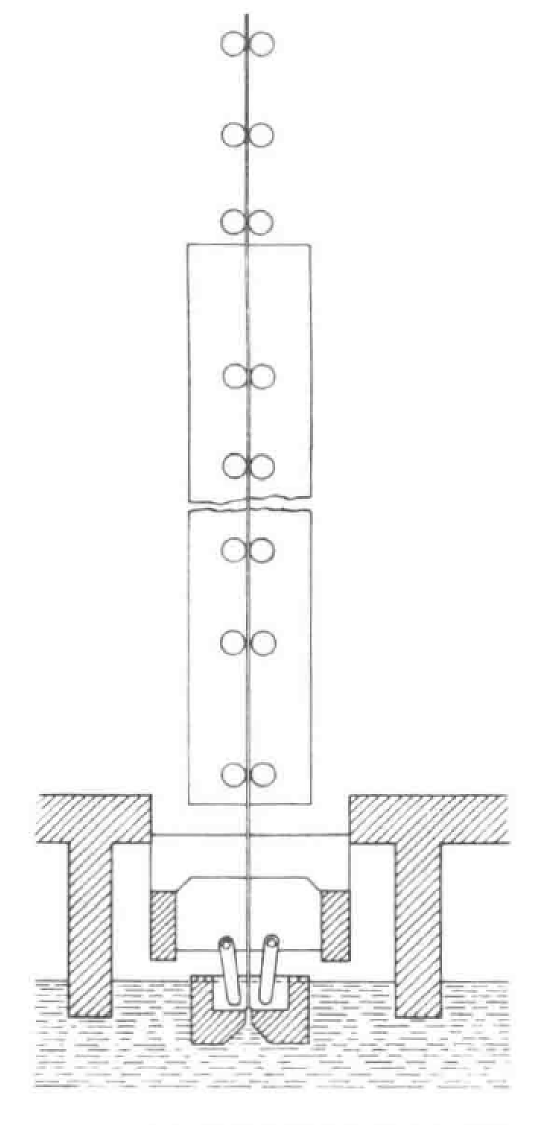


图362　富尔科用有槽垂直引上法制造平板玻璃的示意图。

多年来，人们一直想从熔炉里直接拉制平板玻璃。1857年，圣海伦斯的克拉克（William Clark）取得了这方面的首个专利，但直到1901年富尔科（Fourcault）制玻璃板法获得专利后才告成功。上述专利的总体计划就是把一块金属板制成的“拍子”浸到熔融玻璃中，玻璃液便黏附在拍子上，往上拉拍子时便拉制成了板状的玻璃。有待克服的困难是正在形成中的玻璃板会逐渐变窄，因为取自熔炉中的玻璃液温度相当高，拉成玻璃板后还会流动一段时间。富尔科解决了这一难题，他利用流体静压力使玻璃液通过火泥浮体（被称作槽子砖）上

的一条狭缝（图 362），槽子砖浮在玻璃液的表面，并被压低到狭缝浸入玻璃液液面，从而使玻璃液透过狭缝，形成板状。如果玻璃板形成后即被拉起的话，则所需的牵引力小，由于热玻璃板的伸展力几近于无，这样“变窄”现象就会大为减少。此外，在紧靠狭缝的上端还放有钢制的循环水箱，用以冷却玻璃板，使之尽快凝固。但是，富尔科有槽垂直引上法开始时遇到许多困难，直到 1913 年才用于商业化生产。

在此期间，美国的科尔伯恩（I. W. Colburn）也研究出一种拉制玻璃板法。这方法中的平板玻璃是从玻璃液整个液面中拉制出来的，用水冷式有凸边的拉边器使玻璃板的宽度保持恒定不变，拉边器位于熔融玻璃液面上方 1 英寸或 2 英寸的玻璃板的框边部。把玻璃板垂直拉出液面几英尺，然后重新加热，通过转向辊转为水平方向，然后再送进卧式退火炉。

在制造平板玻璃时，过去曾采用过一种方法，就是从铸造坩埚中取出一些熔融玻璃放在所谓的澄清容器中（澄清容器事实上就是大浇包或铁箱子），中存留约 6 小时，以便逸出气泡完成澄清过程，然后把熔融玻璃液浇在压浇台上碾平。贝塞麦在玻璃制造方面的贡献不及他在炼钢方面的成就，他在 1846 年提出了使熔融玻璃通过一对轧辊来生产平板玻璃的设想，但他的试验没能转化成商业化生产。贝塞麦想用平炉代替坩埚来熔化玻璃，然后让熔融玻璃从平炉底部的一个矩形狭缝中流出。虽然他的这种方法没有获得成功，但是他提出的熔化玻璃的新设想却预告了池炉的问世。1926 年，从池炉里熔炼出来的玻璃液通过窑坝流到了轧辊上，从而开创了连续的平板玻璃生产方法。1884—1887 年，钱斯兄弟公司发明了压延玻璃板的生产方法。在这种方法中，熔融的玻璃被浇在倾斜的板上，然后在一对轧辊间通过。

不论用何种方法成型，平板玻璃都必须经过磨平和抛光这样的后

道工序。这些工序逐渐引入了机器，起初由蒸汽驱动，但后来燃气发动机和电动机相继成了原动机。

28.4 熔炉

如果熔化玻璃用的熔炉没有同步发展的话，那么无论平板玻璃抑或玻璃容器的生产都不可能实现机械化。在1850年，玻璃工业使用的熔炉是直接加热式的，燃料在炉门下方的炉栅上燃烧，上面安装有熔化玻璃的耐火坩埚，燃料燃烧产生的火焰通过孔眼上蹿围住坩埚。熔炉位于巨大的锥形砖结构中央，敞开的炉顶除用作环绕熔炉的工场间外，还起着烟囱的作用（第Ⅳ卷，图版21B），燃烧产物由炉室里出来，经小烟道进入外部的锥形宽烟囱中。这种熔炉使用燃料不经济，但优点是锥形烟筒拔风良好，能使工人感到凉爽一些。

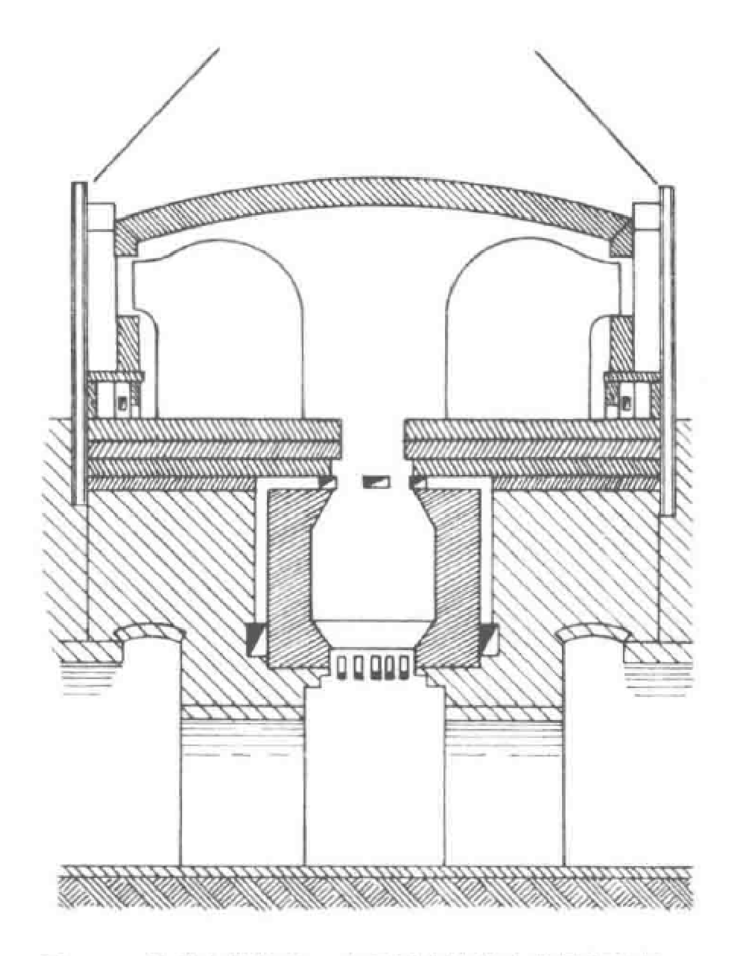
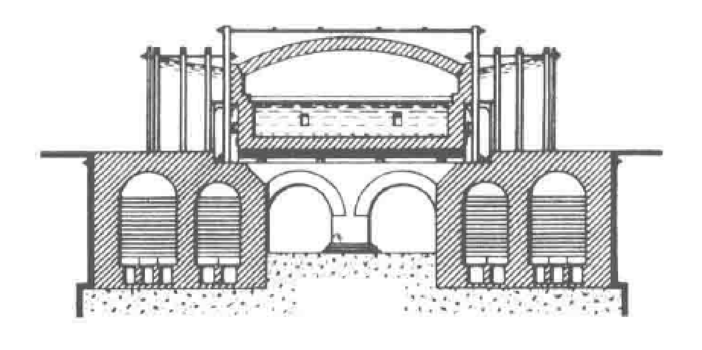


图363 伯蒂乌斯熔炉：应用同流换热法的早期熔炉。

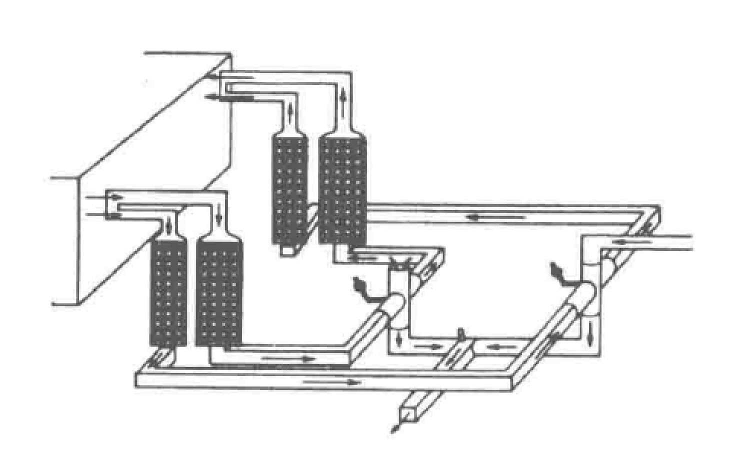
后来的直接加热式熔炉做了一些改进，弗里斯比进料机就是一种向上而不是向下往熔炉箱里送燃料的装置。这样，燃烧产物便穿过炽热的火焰向上腾起，结果使燃料部分地气化，并在炉内燃烧。伯蒂乌斯熔炉反映出玻璃工业中采用空气预热方法的初始状况（图363），燃烧所需要的大部分空气即次级空气，通过燃烧室（即发热器）周围的通道。这种预热方法的原理与现在所说的同流换热法相同，


图 364　早期的西门子蓄热式窑炉。

但在20世纪以前似乎没有得到大量应用。

玻璃熔炉在19世纪下半叶取得的重大进展是F. 西门子和W. 西门子（F. and W. Siemens）发明的蓄热式窑炉（图364）。这种炉子有两组蓄热室，利用阀门能使外逸的燃烧产物气通过一组蓄热室，进入的煤气和空气通过另一组蓄热室。每隔一定的时间，就让气体流动的方向倒过来，使进入的煤气和空气能吸收往外逸出的废气通过蓄热室时释放的热量（图365）。1856年，F. 西门子在英国取得首个专利，这种窑炉在设菲尔德的Atkinson炼钢厂首先得到应用。1860—1861年，伯明翰的Lloyd & Summerfield玻璃厂也试用了这种蓄热系统。1862年，钱斯兄弟公司将具备蓄热系统的窑炉投入使用。这些窑炉都以煤气为燃料。

新的加热方法使玻璃制造厂摆脱了用火泥坩埚熔化玻璃的传统方法。使用煤气加热的蓄热式窑炉能获得比此前高得多的温度，坩埚的有效寿命因而大大降低，并导致了池炉的问世，这种熔炉很可能是偶然发明的。据记载，莱茵河地区有一家大工厂使用了四座蓄热式窑炉，由于温度比通常温度高得多，结果一座蓄热式窑炉里的所有坩埚都破裂了。熔融的玻璃覆盖了炉底或炉门，坩埚的碎片漂浮在玻璃液表面，人们把坩埚碎片取出，结果发现玻璃沸腾得很好，为达到所要求的工作深度，后又加入另一批玻璃料，这样便获得了第一个池式


图 365　蓄热式窑炉的预热系统。

熔炉。

文献上关于第一次采用蓄热式池炉的记载有些矛盾，但可以肯定的是，这种熔炉约在 1870 年投入使用。起初，它是一种日池炉，即玻璃料在头天夜里熔化，第二天白天使用。但随着工业机械化的日渐普及，日池炉发展成连续池炉，玻璃生产不是在时间而是在空间得到了扩展。在连续池炉的一端送入待熔化的玻璃料，并对温度作如下安排：当熔化的玻璃料开始形成玻璃时，池内玻璃料向前流到温度较高的区域，以便进行澄清，澄清后的玻璃液会流到池内温度稍低的区域，这时玻璃料处于良好的备用状态。

参考书目

19世纪上半叶，英国凭借蒸汽动力和铁路网在工业发展中处于领先地位。19世纪下半叶，化学和物理在工业中的应用变得越来越重要，这在德国体现得尤其明显。如前文所述，肖特和阿贝是这一时期最杰出的代表人物，他们在玻璃方面拓展出全新的基础知识，而德国作者同样就玻璃的概况撰写了绝大部分文献和教科书。

Benrath, H. E. 'Die Glasfabrikation.' Vieweg, Braunschweig. 1875.

Dralle, R. 'Die Glasfabrikation.' Oldenbourg, Munich. 1911.

Henrivaux, J. 'La verrerie au XXe siècle en France.' (2nd ed.). Geisler, Paris. 1911.

Powell, H. J., Chance, H. and Harris, H. G. 'The Principles of Glass Making.' London. 1883.

一本新近出版的书述及本章讨论的这段时期的部分内容：

Hodkin, F. W. and Cousen, A. 'A Textbook of Glass Technology.' Constable, London. 1925.

在《玻璃技术学会会刊》中，常登载涉及玻璃历史状况的文章。

美国玻璃容器工业的成长，特别是有关利比和欧文斯的合作详情可参阅：

Scoville, W. C. 'Revolution in Glass Making.' Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1948.



在18世纪的一家玻璃工场里手工吹制玻璃瓶。

第29章 印刷及其相关行业

W. 特纳 · 贝里（W. TURNER BERRY）

29.1 活字铸造机

在本卷所涵盖的这段时期之前，许多铸字车间仍在使用前文（第Ⅲ卷，第15章）谈到过的铸字方法。工匠们一只手拿着老式的镶有铁柄的铸模，另一只手拿着一小勺液态铅合金，每一次只能铸一个字母。在一个十小时的工作日中，一名工匠只能铸造大约4000个铅字，这些铅字还要经过好几道其他工序才能为排字工人所使用。许多国家都为机械铸字做了各种努力，试图用手动泵来取代手工浇注。不过，这类发明在英国很少受到鼓励，因为铸字工们坚称新方法的效果比不上那些老办法，或许他们还害怕会遭遇失业或降低薪金。

布鲁斯（David Bruce）发明了第一架实用的机械铸字机，1838年在美国获得专利（图366）。它在工作时，回转架以摇动的方式，使铸模朝着熔化锅的喷嘴来回移动。同这个摇动相配合，机器还进行一连串组合运动，包括适时开启和关闭铸模，并使字模倾斜着脱离新铸铅字的表面，使新铸铅字能完全出坯。这种铸字机既可以用人力驱动，也可以用蒸汽做动力，不久就在美国投入使用。很快，莱比锡著名印刷匠布罗克豪斯（F. A. Brockhaus）在德国仿制了这种机器，并在1851年的首届伦敦万国博览会上展出了他的样机和由样机铸出的铅字所印

的书本，还为此获得了一枚奖章。

在 1850 年前不久，布鲁斯铸字机传到了英国。1849 年，不顾其他英国铸字工厂的联合反对，由爱丁堡两名主张进步的铸字工开办的米勒－理查公司（Miller & Richard）使用了这种铸字机。一些较大的印刷厂和报社在 1851 年万国博览会之前也使用机械来铸字，其中包括为万国博览会印刷了大量的目录的克洛斯公司（Clowes）。万国博览会结束后不久，英国人消除了对机械铸字的反感。布鲁斯铸字机的一般原理经过多次改进后，为大多数后来的铸字工所仿效。

684

由于使用了轮转铸字机，对印刷行业的机械创新作出过重大贡献的《泰晤士报》（*The Times*）创造了当时机械铸字的速度纪录，威克斯（Frederick Wicks）则在 1881 年取得这种轮转铸字机的专利。它有 100 只铸模，每小时能铸造 6 万个字符。对一家报社来说，这种高速铸字带来的好处是免去印刷后拆版的麻烦，只需将用过的铅字倒回熔铅炉，就能每天用新的铅字来印报纸。

29.2　铅字排字机

除了尝试使用机械法铸字，发明家们还着手设计比手工排字速度更快的排字机，设想了两种不同的机器类型，一种是用来排铸字工所铸普通铅字的排字机，另一种是实际上既可以铸字又可以排字的铸排机。许多人都想到了第一种机器，并耗费了大量的资金进行试验。他们走的差不多都是同样的路子，就是将大量各种不同的字母、数字和标点符号等分别存入互相隔开的字模库中。当机器操纵者按下像打字机那样的按键时，单个铅字就会按要求从字模库中弹出，并沿着一条沟槽或通道滑到拼版的地方。从理论上看这很简单，但实际上有些字母比其他字母落得快一些，而且，事实证明如何制造每次只弹出一个铅字的机械装置也是一个很大的难题。

685

排字机发明的首次记载出现在 1822 年。当时一名住在英国的纽

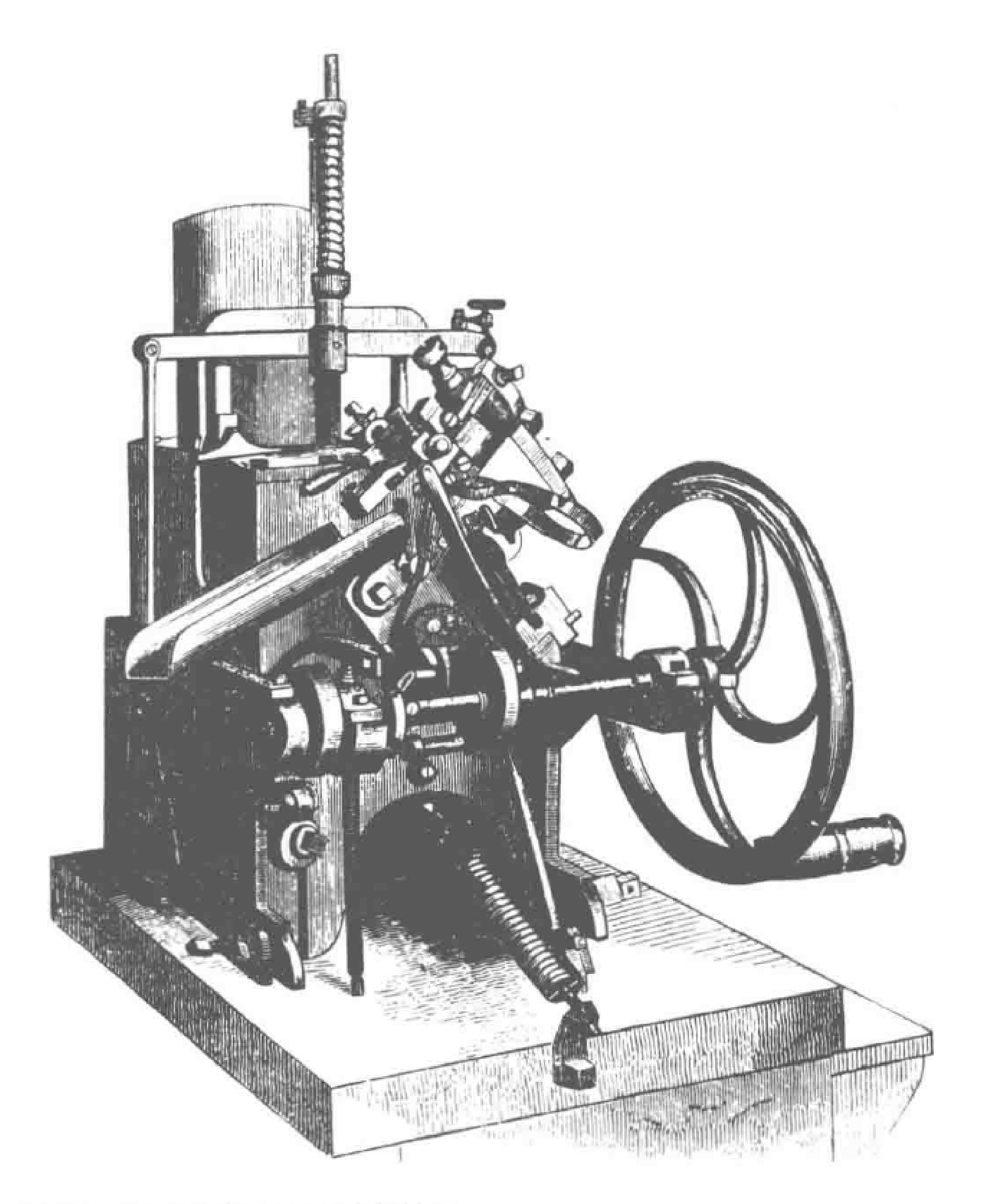


图 366 纽约的布鲁斯发明的枢轴铸字机。

约人丘奇(William Church)宣布，他发明了一种自动排字的方法。但是，除了一个木制机器模型外，他什么东西也没有制造出来。18年以后，贝塞麦(Henry Bessemer，1813—1898，炼钢转炉的发明者)设计了一种类似的机器，而来自法国里尔的扬(J. H. Young)和德尔康布尔(A. Delcambre)获得了专利。这种机器以两位专利获得者的名字命名，也称为钢琴式排字机(图367)。它需由一个人操纵键盘，另一个人则在铅字滑道的终端收集铅字，并按照给定的尺寸调整铅字间隔使全行排满。1842年12月17日出版的第一期《家庭先驱报》(*Family*

Herald）所用的铅字，就是在这架机器上以每小时 6000 个字母和衬铅的速度排出来的。在随后的 35 年中，有许多排字机获得了专利，其中有些投入了使用。在美国，米切尔（Mitchell）排字机（1853 年）和奥尔登（Alden）排字机（1856 年）在图书出版社使用了一段时间，后者由 14626 个零件组成。在英国，曼彻斯特的一位工程师发明的哈特斯利（Hattersley）排字机（1857 年）非常成功，曾为好几家地方报纸所采用。1868 年，《沃灵顿卫报》（*Warrington Guardian*）的老板麦凯（Alexander Mackie）制成了一架由两部分组成的十分灵巧的自动排字

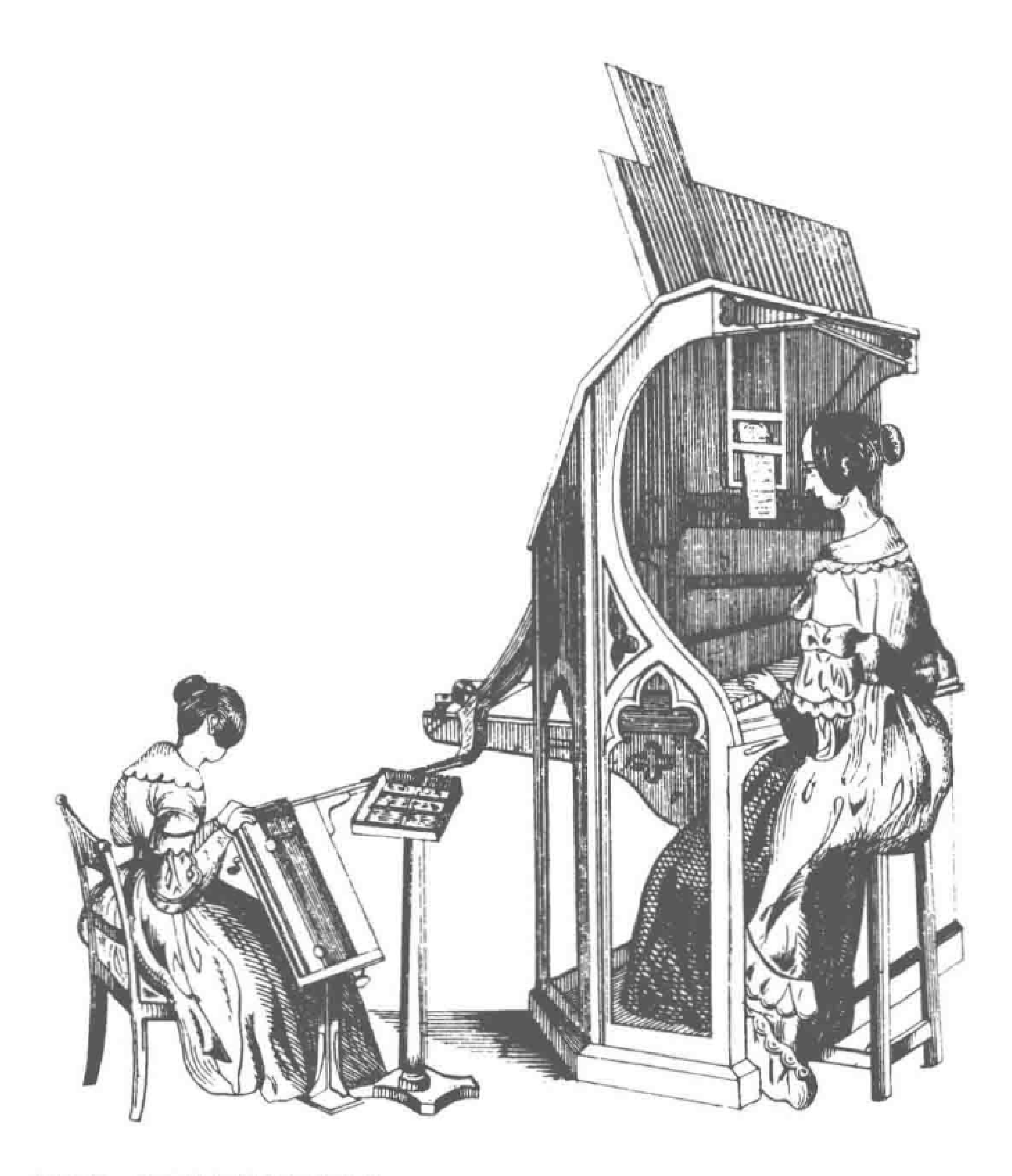


图 367　扬和德尔康布尔排字机。

机。其中，打孔机根据需排的铅字，在一条狭窄纸带上打出相应的孔，然后将纸带送入铸字机。铸字机的顶部有几根操纵杆搜寻纸带上的小孔并穿过纸带，但除非与纸带的小孔对准，否则操纵杆无法穿过纸带。当操纵杆通过纸带时，机器的某个装置就抽出一个铅字放到传送带上，由传送带将铅字带到已准备好用手工齐行的拼版台上。几年后，这个原理被莫诺自动铸排机所采用。胡克铸字机（the Hooker，1874 年）是第一部由电力驱动的机器，它是为克洛斯公司研制，并由这家公司 1877 年在卡克斯顿（Caxton）庆典上展出。

686

在 1890 年之前，大量的排字机已经投放到英国和外国的市场，其中有些排字机兼有排版和拆版的功能。不过在实际使用中，没有一架机器完全令人满意。它们经常出毛病，而相对手工排字的速度优势又不那么明显，不足以弥补诸多缺点。据报道，在竭尽全力鼓励发明家们的《泰晤士报》的地下室里，堆满了废弃不用的排字机。当然，如果没有莱诺铸排机（the Linotype）[1] 这一划时代发明的话，随着时间的推移，有些排字机迟早也会达到更完善的地步。但莱诺铸排机使所有的排字机都黯然失色，因而在印刷史特别是在报纸印刷史上开创了一个新纪元。[1]

一般排字机需要三个人操纵，一个管键盘，一个供应铅字，另一个进行齐行处理。莱诺铸排机仅需一个人操纵，其余的工作则由机器来完成。即使那些始终仇视一切机械排字装置并把许多机械排字装置从印刷厂（尤其是伦敦的印刷厂）排挤出去的熟练排字工们，最后也认可了这种新机器，许多人当上了莱诺铸排机的操作工，以适应形势的变化。

687

莱诺铸排机并不是从排字机变化而来，它完全是沿着另一种思路逐渐发展。事实上，那些把时间和金钱花在这种机器上的早期研制的人，一开始根本没有想到过印刷这个行业。人们将这种机器的

1　Linotype 一词来源于 line o'type。

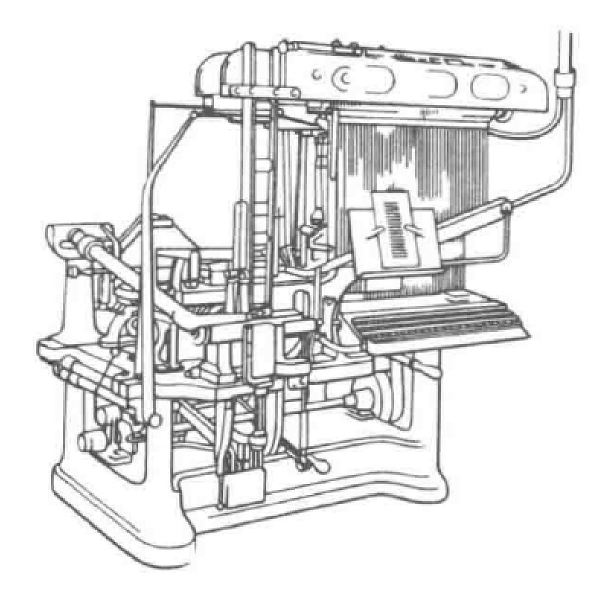


图368　莱诺“吹风”铸排机，1886年7月3日首次为《纽约论坛报》所采用。

发明归功于速记员克莱芬（James Clephane）的不懈努力，他后来成了华盛顿的一名开业律师。克莱芬向往有一种机器能够将速记符号变成普通文字，从而将他从冗长乏味的工作中解脱出来。他是登斯莫尔（Densmore）和肖尔斯（Sholes）所发明的书写机的最早使用者之一（边码689），这种书写机后来发展成为雷明顿（Remington）打字机（1873年）。但克莱芬提出了进一步的要求，想拥有一架既能用机械方法大量复制法律文件又可省去手工排版费用的机器。他聘用了发明家穆尔（Charles T. Moore），穆尔终于为他设计出用纸型模子铸造与铅字的标准高度等高的铅字条[1]的方法。

第二年（1879年），克莱芬和从德国符腾堡移居美国的钟表匠默根特勒（Ottmar Mergenthaler，1854—1899）根据穆尔发明的方法成功制造出一部机器，这就是后来闻名于世的轮转印刷机。接下来默根特勒又制成了另一架由竖条组成的铸排机。这些竖条由键盘控制，竖条上所刻字母充作阳模，当字母形成一行文字时，把一条纸型带压上，形成字模纸型，由这个字模纸型可以铸出整行铅字来。默根特勒随后又想到，既然可以将凸刻字母放到一起压出纸型，为什么不可以将一系列字母纸型放在一起而直接铸出标准高度的铅字条呢？这种新想法就是以机械方式排版，通过键盘将单个字母从字模库中提取出来，然后用气流将它们移到拼版点上。齐行处理可由楔形空铅字实现，空铅字可以将字行延伸到所需的长度。这个想法

1　是指将一行铅字铸成的一个长条。

已由舒克斯（Schuckers）在1879年先行取得了专利，默根特勒的赞助者们最终以50万美元的代价买下了它。1885年，莱诺"吹风"铸排样机完工，1886年首次在《纽约论坛报》（*New York Tribune*）印刷所投入使用（图368）。

莱诺公司（Linotype）的原名是莱诺印刷公司（Linotype Printing Company），必须解决的主要问题之一就是迅速为每架机器提供数百个字模。这些字模要用凸模冲头来压制，而这些凸模冲头则由那些专门技术工费力地手工制作。在普通铅字铸造中，铸字工在刻好了凸模冲头之后，只需要一两个字模就可以铸出大量的特殊符号，莱诺铸排机则需要数百个字模，困难之处在于凸模冲头的使用寿命有限，因此必须不断地复制字模。令人庆幸的是，这时美国密尔沃基的发明家本顿（Linn Boyd Benton）根据缩放尺原理改进并完成了一架凸模雕刻机，大大简化了制作工序，降低了制作成本，并提高了凸模冲头的制造速度。1889年，莱诺印刷公司购置了一架这样的机器，不仅解决了他们的困难，而且还提高了字模的精度。到1890年时，便制造出一架很完善的莱诺铸排机，随后又制造了好几百架这样的机器，在美国、英国后来在欧洲大陆都十分畅销。到1900年时，伦敦的21种日报以及伦敦和各地的250种其他报纸和期刊都用这种机器印刷，其成功在印刷机械史上是无与伦比的。20世纪40年代，全世界都在用莱诺铸排机来铸排报纸和期刊的正文，美国还用来铸排书籍。这些机器的一般原理同1890年的机型基本相同。

688

莱诺铸排机的突出特点之一就是它有一个拆版装置。当一组字模铸完了铅条之后，字模便被一个曲臂带走，放到拆版条上。每个字模像钥匙一样带有齿牙，悬挂在拆版条相应的齿牙上，并由蜗轮推动沿着拆版条运动。拆版条上每隔一定距离就有几个空缺，当到达某个空缺时，字模会脱离拆版条，落到相应的空格内，并排到其他相同字的字模后面，以备轮到它们时再次使用。

689

29.3 打字机

这里必须提到的是，打字机同排字机有密切的关系。打字机的历史从1714年英国工程师米尔(Henry Mill)获得专利开始，这个专利是一种能“像书写那样，单个地或一个接一个地连续印字或打字的手工机器或方法”。对于这种机器，现在没有图样和文字说明，也没有关于有人曾经制造过的记载。如果说它就是我们现今意义上的打字机的话，那么米尔在这个领域内比其他任何人都处于更加领先的地位。不过在那些工薪微薄的小职员们写着一手隽秀字体的时代，在那些商业公司满足于用潮湿的薄绵纸和复写纸复制副本文件的时代，对这种打字机几乎没有需求。甚至一个半世纪之后，当雷明顿公司将第一架性能可靠的打字机投放市场(1873年)时，仍有相当长一段时间无人问津。

18世纪和19世纪初叶，许多欧洲发明家制造了各种类型的书写机器，其中包括一种可供盲人教育使用的凹凸纸。

第一架获得美国专利的打字机是由底特律的伯特(William Austin Burt，1829年)发明的“排印工”。这种打字机的字头装在一个小型的半圆金属带上，移动这个半圆金属带，可以将所需要的任何字母送到打印位置。在后来发明的打字机中，这条半圆金属带常常被边缘装有字头的转轮所代替，或为直径较小、表面装有数排字头的套

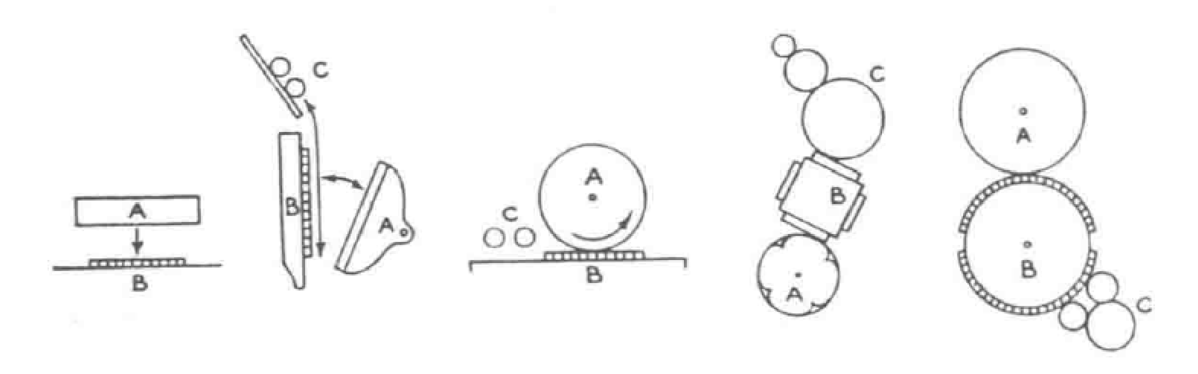


图369 各种印刷机工作原理示意图。
(从左至右)手动印刷机、平压平印刷机、平压圆印刷机、培根和唐金的轮转机、轮转机。
(A)压印版或压印滚筒；(B)活版或铅印版；(C)输墨辊。

筒所代替。在所有这种类型的打字机中，当所需要的字母的位置对准时，字母是通过将带子、转轮或套筒击打到纸上印出来，或者是用小锤将纸同字头相击而印出来。这种打字机有两个优点，一是容易对齐，二是铅字字头可以从一面换到另一面。这类打字机中唯一保存下来的就是“可变字体”打字机，它的字头装在曲面带上，可以很容易地换成其他的字母表或者其他的语言，主要用来为胶印工艺制作文字印版。

铅字条打字机的原型是由马赛印刷匠普罗然（Xavier Progin）在 1833 年发明的。机器的每根彼此独立的连动杆上都镶有一个字母，每根连动杆都可以单独到达所需打印的位置。普罗然把这种打字机称为密码机，并断言这架机器打起字来“几乎跟用笔写字一样快”。

人们通常认为现代打字机之父是美国印刷人肖尔斯，他和几个助手一起发明了用于计数的打字机。这一发明导致了铅字条打字机的问世，机器上都带有由重物牵动的水平压印版，印字由着墨色带来完成。1867 年，这架工作样机完成。在随后的 5 年里，在一位名叫登斯莫尔的精明商人的鼓励下，肖尔斯研制了大约 30 架不同类型的样机，最终制造了一台能快速键入的打字机。快速打字时字杆的互相碰撞是肖尔斯不得不克服的主要困难，最终他在键盘上将最常一起出现的字母安排得尽可能地远，这种方法后来几乎为所有的打字机所采用。1876 年，这种被称为“通用打字机”的设备投放市场，开始的一年左右时间内销售量并不大，但最终在商业上获得了成功，因为它完全能打得又快又好，而且又非常节省时间。

690

在 19 世纪末期之前，大约有 40 种著名的打字机问世。这些打字机有了很多改进，其中包括完全可见式打字机（1880 年）、便携式打字机（1893 年）、带制表（跳格）键的打字机（1897 年）和其他许多有价值的创新。

29.4 铁制印刷机

尽管直到19世纪90年代才完全实现了机械化排字，但是复制文字材料的机器早在19世纪中叶就已有了长足的进步。曾为1851年万国博览会印过重要文件《评委会报告》(*Reports of the Juries*)的克洛斯，那时已拥有26架蒸汽动力印刷机，一台大型轮转印刷机每天可印刷3.5万份《泰晤士报》，它的一件复制品成了博览会上最引人瞩目的新产品之一。图369示出了印刷机发展过程中的各个阶段。

691

除了皇家印刷所的阿尼松(Anisson-Duperron，1783年)、巴黎的迪多(Firmin Didot，1795年)、侨居费城的苏格兰人拉梅奇(Adam Ramage，1790年)及其他一两个人曾为增加压力而做过一点改进之外，在18世纪末之前只有前面(第Ⅲ卷，边码400)提到过的木制手动印刷机提供了唯一的复制文字材料的方法。由于手动印刷机的主要部件是木制的，所以大型文字印刷在一次压印时难以得到所需的压力。木制印刷机的局限性也严重地影响了压印效果的提高，以致不能印刷比维克(Thomas Bewick)及其学派用新方法雕刻的木版画，这些版画以

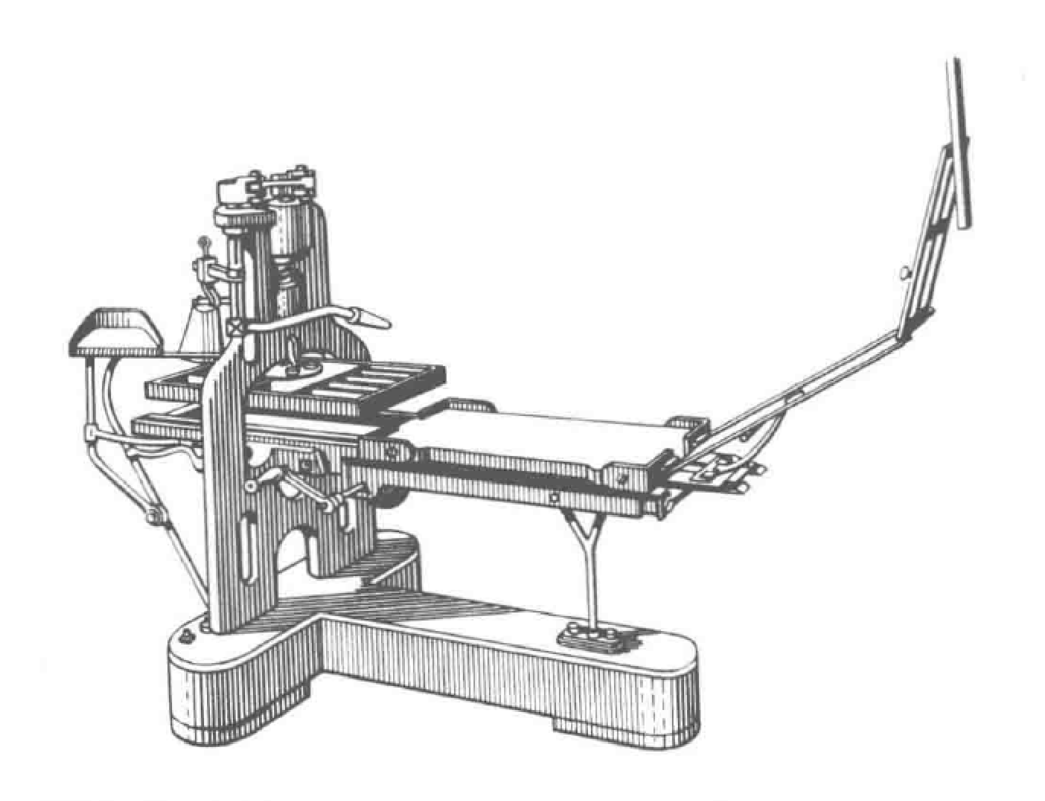


图370 第一架英国铁制印刷机，于1800年由斯坦霍普伯爵发明。

设计精致而闻名于世。

最先在印刷机械上取得重大进展的人并不是印刷商或印刷机制造商，而是一位业余科学家兼数学家马洪·斯坦霍普伯爵（Charles

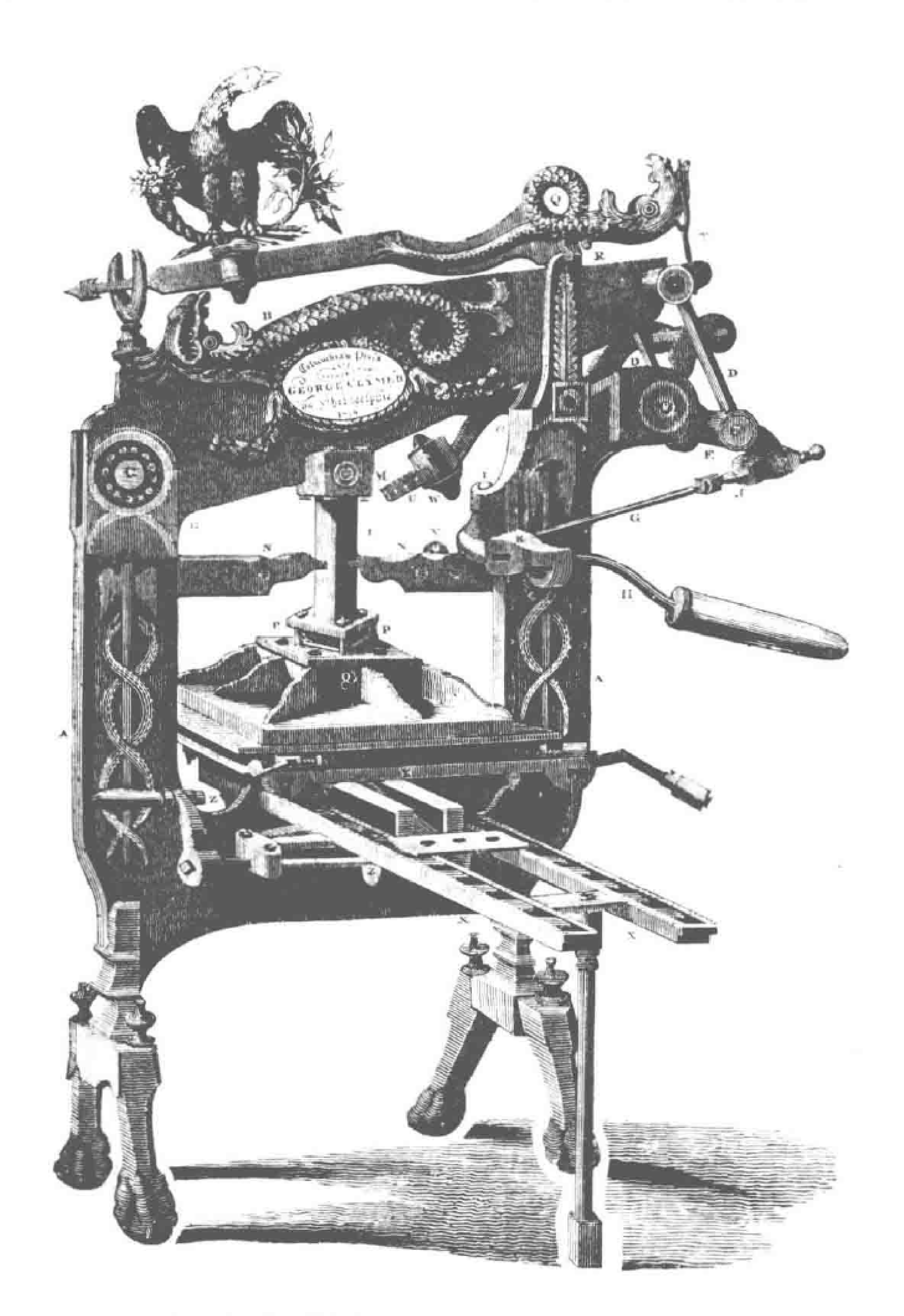


图 371　第一次取消了螺杆的哥伦比亚印刷机，由费城的克莱默发明，于 1813 年投放到美国市场。科普从 1818 年起为美国市场和欧洲大陆制造该种印刷机。

Mahon，Earl Stanhope，1753—1816）。他设法将杠杆和螺旋运动相结合，从而在转印时能产生巨大的压力。这种印刷机的其他零部件，包括使压印版下版台运动的机构，其原理同以前的印刷机零部件很相似。但是，除了版台下面的粗壮木制T形撑架以外，其他零部件都是铁制的。因为有极佳的动力特性和稳定性，斯坦霍普印刷机首次使用全尺寸的压印版，可以一下子将整个铅字版面印到纸上（图370）。布尔默（William Bulmer）和其他一些主要印刷商对这架新机器进行了测试，结果证明无论在哪个方面它都比旧机器性能优越。《泰晤士报》的出版机构立即安装了许多斯坦霍普印刷机，其他报社和印刷商也相继购买，他们很乐意为每台机器支付90几尼。由于这些机器的价格比木制印刷机高出一倍，有些人便仿制了几台低档品。许多印刷机制造商甚至还企图将斯坦霍普机器的原理运用于木制印刷机，但结果都很糟。

692

美国第一架铁制印刷机是由费城一位名叫克莱默（George Clymer）的细木工发明的，他年轻时就曾尝试改进木制印刷机。现在很难肯定他当时是否有机会研究过斯坦霍普印刷机，即使有过这样的机会，那种机器对他的著名的哥伦比亚印刷机（the Columbian）的设计和结构也不会产生多少影响。1813年，哥伦比亚印刷机完工（图371），它的一个显著特点就是装潢精致，尤其是在机器顶上装了一只金属鹰，每拉一下横杆，金属鹰就跃向空中。这是第一部不用螺杆的手动印刷机，它通过作用良好的杠杆平衡和配重系统（包括金属鹰在内）将动力传递到竖直的活塞，将压印版压下去。这个动作很平稳，不需要费很大的劲就可以获得良好的压印效果。那些付得起400美元的美国报社、书籍印刷厂和承接零星印件的印刷商，很快便采用了这种新机器。1817年，克莱默到达英国，安排印刷机制造商科普（R. W. Cope）为英国市场生产哥伦比亚印刷机。很快，这种机器在英国市场上比斯坦霍普印刷机更受青睐，尤其受到那些专

693

694

事木刻版印刷的印刷商的欢迎。这里还必须提到另一位美国人韦尔斯（John I. Wells），因为发明第一架肘节连接印刷机的荣誉非他莫属，他在1819年取得这种印刷机的专利，其他几位发明家后来进行了仿制。

1820年，科普推出了自己的印刷机，命名为阿尔比恩（Albion）印刷机（图372）。他将钢制横杆下压到垂直位置时压印版向下运动，

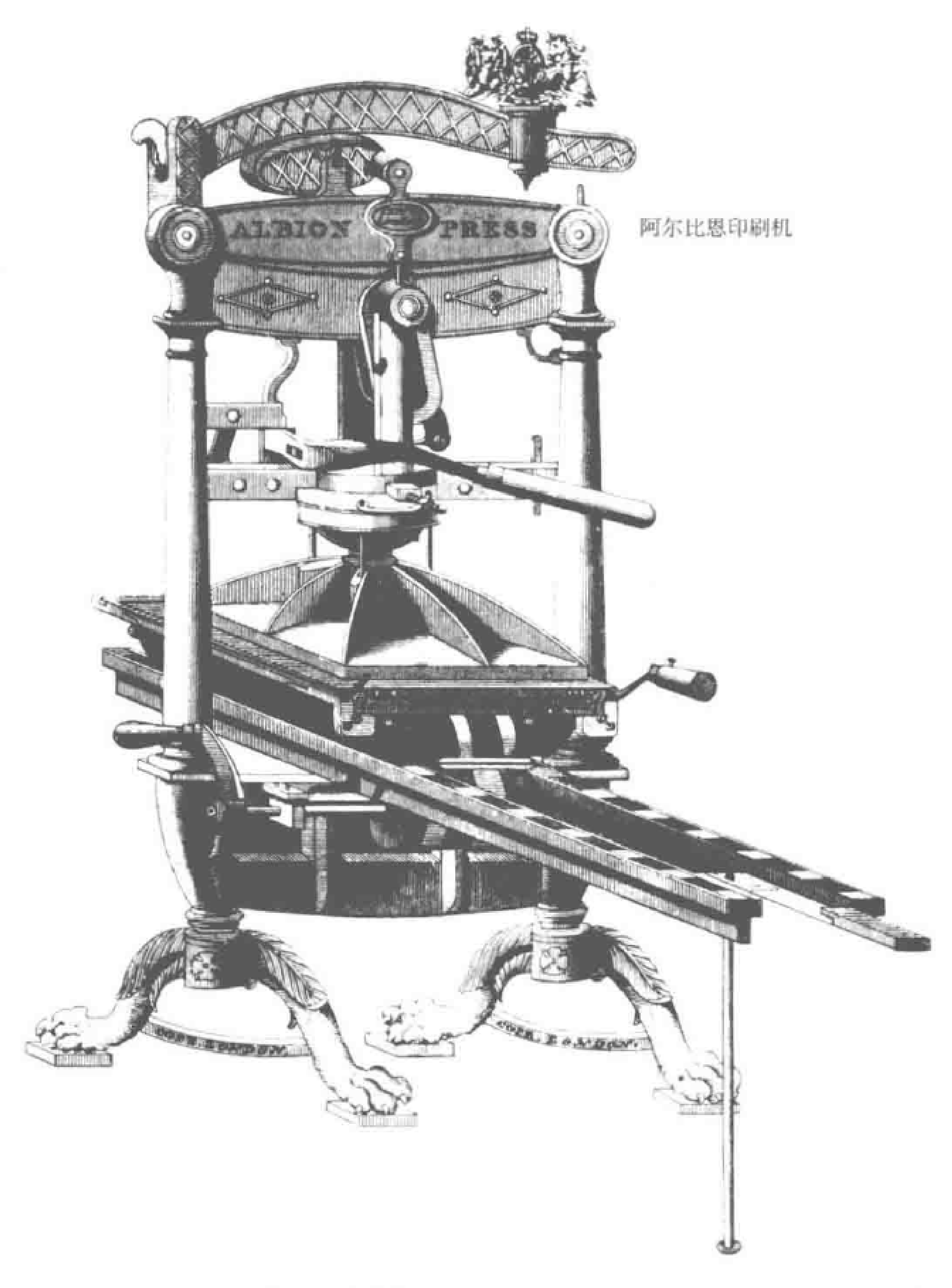


图372 科普发明的阿尔比恩印刷机的早期形式。在随后制作的机型中去掉了机头部分支撑大臂的配重（从哥伦比亚印刷机派生出来的设计），压印版由一个弹簧来提升。

横杆的低端从压印版的顶部上面滑过。当横杆竖直时，压印版可获得最大压力。与其他铁制印刷机相比，这种印刷机重量轻，操作简单，转印压力大，因而在英国颇受欢迎，在欧洲和英国殖民地也获得一定程度上的好评。阿尔比恩印刷机还从来没有被其他印刷机完全取代过。当莫里斯（William Morris）重新着手进行精细印刷时，在他的凯尔斯科特（Kelmscott）印刷所（1890—1898 年）就选用了阿尔比恩印刷机。霍恩比（C. H. St John Hornby）在他的阿塞德内（Ashendene）印刷所（1894—1914 年），科布登 - 桑德森（T. J. Cobden-Sanderson）和沃克（Emery Walker）在他们的多弗斯（Doves）印刷所（1900—1917 年）也使用了阿尔比恩印刷机。其他许多私人印刷所也都愿意使用这种印刷机。这种机器后来有 13 种规格，大小范围从 19 世纪 60 年代售价 12 英镑的半页对开（$15\times9\frac{3}{8}$英寸）压印版到售价 75 英镑的双全张（“王裁”）（40 英寸 ×25 英寸）压印版。直到今天，许多热衷印刷的业余爱好者仍垂青老式的阿尔比恩印刷机，而不喜欢使用其他手动印刷机。

29.5 蒸汽印刷机

1810 年以前，印刷机的唯一动力就是印刷工粗壮的手臂。1810 年，一位叫作凯尼格（Frederick Koenig）的撒克逊印刷匠为伦敦的著名书籍印刷商本斯利（Thomas Bensley）制作了一架动力印刷机。凯尼格有许多新设想，可是在自己的国家却得不到鼓励。他制造的动力印刷机的一系列的输墨辊由墨斗供墨，并能自动给印版上墨。如果没有这一特点，这种机器只不过是用动力代替手工操作的普通印刷机而已。尽管本斯利印刷所以每小时 800 印张的速度印制了部分《纪事年鉴》(*Annual Register*)，但凯尼格的印刷机并不很成功。

不久，凯尼格意识到使用两个平面（一个平面支撑铅字版，另

一个平面支承纸张）的印刷机永远达不到他所追求的生产速度。另外，为了一次能印较大面积而扩大这两个平面的尺寸的做法似乎也行不通。于是，在本斯利和其他几位印刷名师的鼓励和资助下，凯尼格和年轻的同胞鲍尔（Andrew Bauer）将他们的创造性想法应用到新的试验中。

有一个事实必须在此记载，早在1790年，科学家、工程师、校长兼作家的尼科尔森（William Nicholson，1753—1815）就获得一项包含印刷机细部的专利。他的创意包括用墨辊上墨、由圆筒卷带纸张在卷墨印版上转印的方法，还进一步阐述了让纸张从两个滚筒之间通过的技巧，其中一个滚筒的表面装有印版，另一个滚筒将纸张对着印版施压，印版的上墨则由第三个滚筒完成。但是，由于缺乏必要的资金且没能找到赞助者，尼科尔森的计划在好多年里只得束之高阁，他为了挣到所需要的钱去当了一名专利员。当凯尼格和本斯利就前面提及的1810年发明的机械化螺旋印刷机申请专利时，本斯利去拜访尼科尔森，向他请教必要的程序。在英国高等法院的监狱里，本斯利找到了时年57岁已破产的尼科尔森，从他口中得知了这位不幸的发明者20年前获得的那些专利。至于凯尼格是否在本斯利见到尼科尔森之前就碰巧已经有了用滚筒作为压印面的设想，至今还有争议，对此我们不想讨论[1]。不过，凯尼格在1811年确实制造了第一部平压圆印刷机，这架机器的原理奠定了后来许许多多印刷机的基础，成了印刷技术发展史上的另一个重要的里程碑。

凯尼格的第一部平压圆印刷机的大滚筒下面装有可前后驱动的版台，大滚筒转一转要停3次。它有3个互相分开的印刷表面，每转一圈就印出三个印张。当滚筒处于静止状态时，将纸张从滚筒的顶部放入，随即被夹纸框夹住。然后滚筒转动1/3，将第二压印面带到顶端。待第二张纸放上后，滚筒再转动1/3，印出第一张纸，这时可用手将

它从机器上取出。随后，将第三张纸放到第三个压印面上，滚筒转完一圈，将第一压印面转到顶部，如此循环往复。这台机器的输墨装置同凯尼格的第一架印刷机相似，也是包着皮革的墨辊并由墨斗供墨。

后来，为了使印刷速度加快一倍，凯尼格又制造了两端均装有滚筒的印刷机，以便利用活字版的往返运动。一些同行被邀请到本斯利印刷所去参观这些机器，但无论是印刷商还是报业老板对此都不十分感兴趣，只有《泰晤士报》的沃尔特(John Walter)除外，他订购了两套双滚筒型平压圆印刷机，准备将它装在报社的印刷厂里。1841年，安装工程在报社工程师的帮助下结束。11月29日出版的《泰晤士报》告诉读者，当天报纸是第一次由蒸汽印刷机印制的，印刷速度为每小时1100份。

696

在英国完成设计的最后一台印刷机中，凯尼格试图同时进行双面印刷。第一台“双面”印刷机是由单滚筒印刷机自然发展而来的，它实际上是同一动力下的两台单滚筒印刷机的结合体。1815年，凯尼

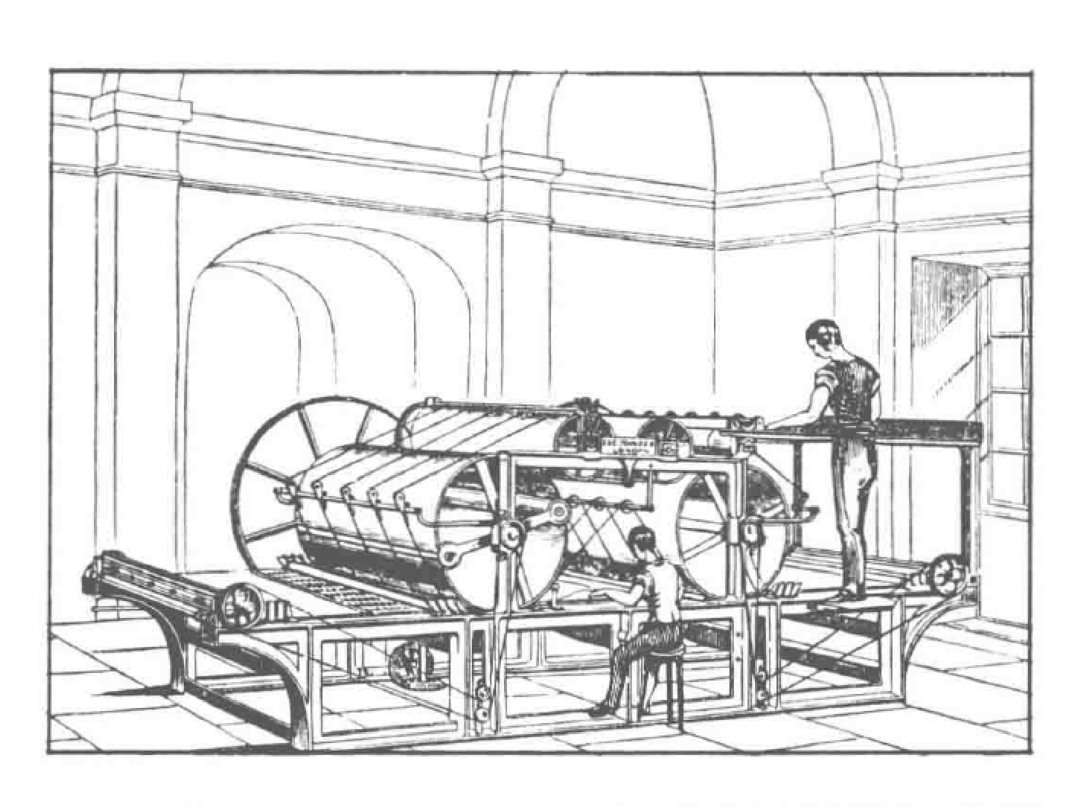


图373　阿普尔加思和考珀发明的从凯尼格印刷机发展而来的双面印刷机。19世纪20年代至30年代，英国和欧洲大陆制造了各种用于印制书籍和报纸的印刷机。

格为本斯利制造了一台这样的印刷机，可是它过于庞大和笨重，不适合印刷书籍。《泰晤士报》采用了这种双面印刷机，经过报社新来的工程师阿普尔加思（Applegath）和考珀（Cowper）的多次改进，直到1828年才获得了令人满意的效果（图373）。这一年，为了跟上报纸发行量的增长速度，《泰晤士报》把两位工程师设计制造的新机器投入工作。它利用4个滚筒，可以一次在一个铅版上印4张纸，印刷速度为每小时4000印张。这种机器只能单面印刷，晚到的消息可以印在另一面上。

英国的印刷机制造商内皮尔（David Napier）对双面印刷机做了重大改进，发明了叼纸牙系统。这套装置可以叼住递纸板上的

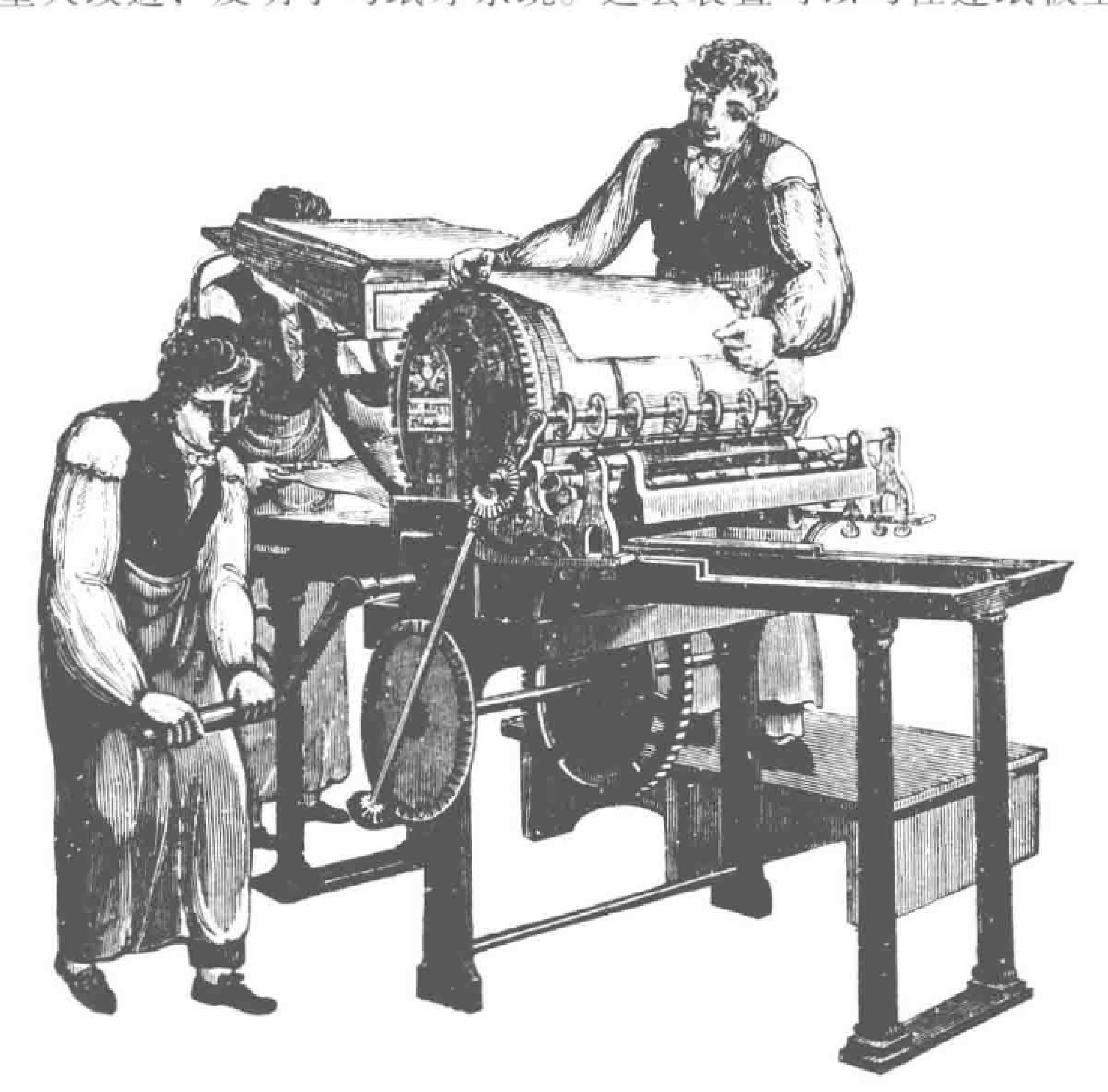


图374　拉特平压圆印刷机，由内皮尔（Napier）公司制造，这是一部简单的由手工操作的机器，用于书籍和散件印刷。约1819年。

697 纸，在印刷过程中不会松开，直到反面印刷滚筒上的叼纸牙接过纸张。这些滚筒每印一张纸要转两圈，在转第二圈时，肘杆系统将滚筒抬高，使得印版不用推就自动回到原处（图 374）。这种印刷机后来在法国得到了重大改进，就是当时为世人所熟知的“盎格鲁–法兰西”印刷机。在美国，纽约的霍（Robert Hoe）进一步完善了英国人的发明，研制出单滚筒印刷机和双滚筒印刷机，经过随后的屡次改进，现在仍在使用。这些早期的霍氏印刷机每小时可完成 2000 印（双滚筒印刷机则可以达到 4000 印），跟自动供纸装置的工作速度一样快。

29.6 轮转印刷机

随着报纸和期刊发行量的不断增加，人们认识到如果印版仍停留在笨重的平版台上，每印刷一次就得来回运动一次，那就永远也不可能加快印刷速度。显然，采用轮转印刷方法可以解决这个问 698 题。印版和纸张分别放在不同的滚筒上，就像碾压机那样连续不断地一同转动。尼科尔森在他 1790 年的专利中，已经提到了运用这种方法的可能性。1813 年，《诺里奇信使报》（*Norwich Mercury*）的业主兼印刷商培根（Richard M. Bacon）和伯蒙德西的工程师唐金（Bryan Donkin）一起获得了这种印刷机的专利（图 369）。他们使用装在旋转主轴 4 个面上的 4 只盘子，每只盘子定位一块印版，这个四棱柱体在输墨滚筒和压印装置之间转动，输墨滚筒上下运动，从而与 4 块平面印版相配合，压印装置的截面则是四叶形的。这种机器可称是创造发明的奇迹，重要特点在于采用了由胶水和糖浆制成的墨辊，这使得它在印刷史上占有了重要的地位。然而，剑桥大学出版社采用这种机器印《圣经》（*Bible*），并没有得到满意的结果。虽然机器本身失败了，胶墨辊却很快得到普遍应用。在很大程度上，印刷技术的发展归功于这项创新。

直到1846年，轮转印刷机才被成功地制造出来，这就是安装在《费城公众纪事报》(*Philadelphia Public Ledger*)印刷所内的霍氏轮转印刷机。在这种机器上，印版被固定在水平滚筒周围的铸铁版台上，一个版台印一页。铅字的栏与栏之间用楔形金属条卡住，以防止铅字由于离心力的作用而飞出去——尽管这种事故只会偶尔发生。在中心滚筒的周围安装有4个小压印滚筒，当印张送入机器时，由自动叼纸牙传递到4个压印滚筒和旋转的中央印版滚筒之间印刷。在同一时期，阿普尔加思(Applegath)为《泰晤士报》制造了另一种印刷机。它的原理同霍氏轮转印刷机很相似，只不过一个直径为5.5英尺的大印版滚筒是竖直的，并且有8个立式压印滚筒装在大印版滚筒的周围。这种机器需要8个人输纸，还需要8个人将印完的纸拿走。1851年在海德公园举办的万国博览会上，还展出过另一部结构相似但尺寸略小的轮转机，它承担了印刷《伦敦新闻画报》(*Illustrated London News*)的任务。1848年，巴黎《祖国报》(*La Patrie*)报社购置了一台轮转机，

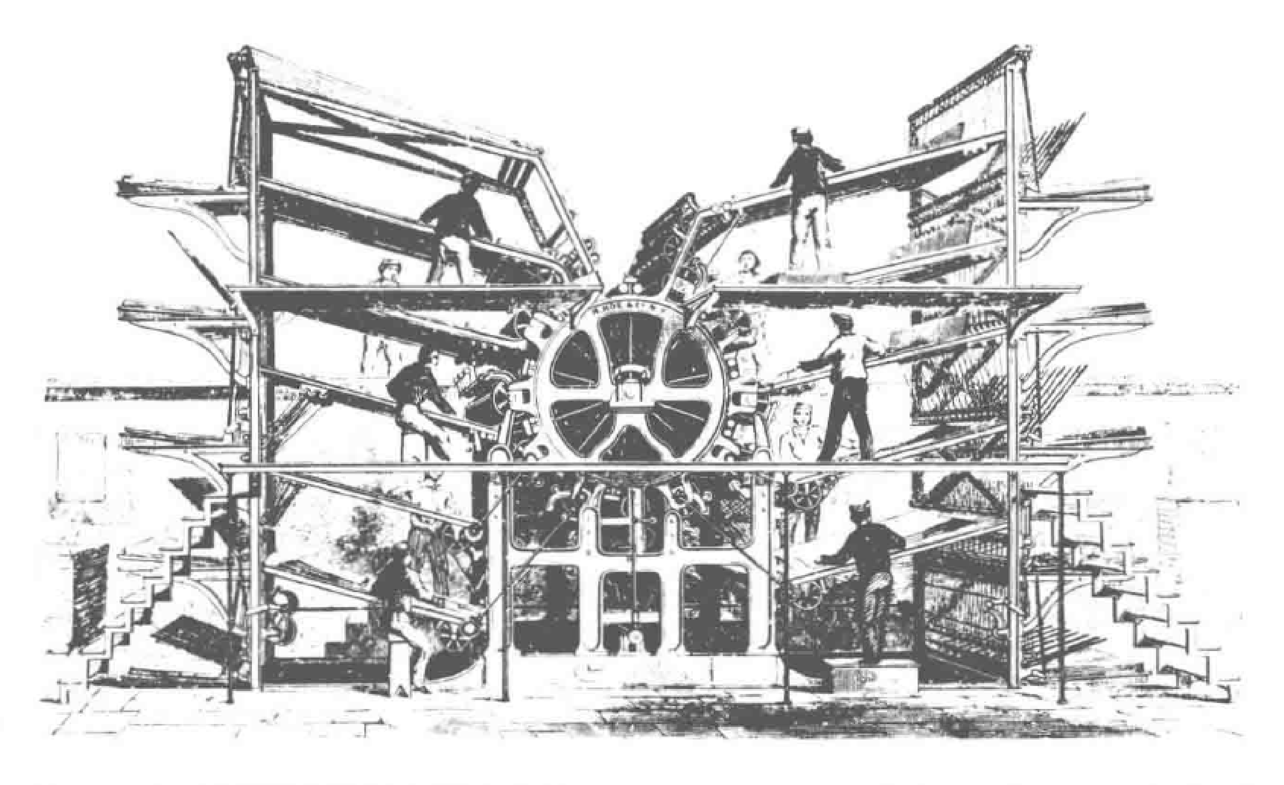


图375　有10个续输纸装置的单张霍氏轮转印刷机，每小时可印2万印张。19世纪60—70年代，许多报社曾使用过带4个、6个、8个或10个输纸装置的霍氏印刷机。

在生产国之外的第一台霍氏轮转印刷机由此组装诞生。1857年，英国的《劳埃德周报》(*Lioyd's Weekly*) 装上了这种机器。同年，《泰晤士报》将他们的立式印刷机改成了有十个输纸装置的霍氏轮转印刷机，每小时可以印刷2万印张，但需要25名工人和童工来做输纸和收纸工作(图375)。

尽管印刷速度取得了如此惊人的进步，但人们还是渴望进一步扩大生产。到19世纪中叶，英国的知识税种全部被废除，它曾导致报价昂贵并且阻碍了其他新办报纸尤其是地方报纸的创办。1855年，废除了每份1便士的报纸税。1834年，从1815年开始征收的每件广告(不论大小)3先令6便士的广告税也降低至每件1先令6便士，到1853年便完全取消了。与此同时，从1837年以来就一直执行的每磅纸交1.5便士税的规定也在1861年废止。这些税收的废除大大地刺激了报纸的销售，并且使一大批读者对象不同的期刊得以创办起来。

为了从活字版铸成弧形的铅版，以适于安装到印版滚筒上来代替松散的铅字，人们曾进行了相当长时间的试验。铅版浇铸绝不是什么新发明，因为据说早在16世纪，荷兰和法国就曾进行过浇铸铅版的试验。1725年，格拉斯哥金匠格德(William Ged)曾采用石膏模制作铅版。由于使用了一种类似的方法制版，另一名格拉斯哥人福利斯(Andrew Foulis)获得了专利，这种方法在19世纪初一直为印刷业中书籍印刷所常用。铅版浇铸对于印制像《圣经》、祈祷书、学校课本等经常需要重印的书具有明显的优越性，可以减少铅字的磨损，而且也不必为将来重印而保留大量的成套铅字。大约自1830年，人们开始采用纸型代替石膏模。后来，用纸型纸(即用胶黏剂黏结在一起的几层纸)将看来有可能重印的书籍的活字版制成纸型，成了标准的做法。在这以前制成的复制铅版都是平的，以便在平压平印刷机上使用。1854年，克拉斯克(Charles Craske)成功地为《纽约先驱报》

(*New York Herald*)铸成了整页的弧形印版，每块印版的曲率恰好与滚筒相吻合。在英国工作的意大利人代拉加纳(James Dellagana)是当时最出色的铸版匠，他为《泰晤士报》的分类栏目也制作了弧形印版，用在报社的霍氏印刷机上来代替用楔条固定的散铅字。这项改革使各家报社可以从一套活铅字中铸出两套或两套以上的复制版，从而大大地提高了经济效益。

当时，单张输纸是影响生产速度的主要因素，解决方法就是使用连续供纸的卷筒纸来印刷。早在1802年，富德里尼耶(Fourdrinier)就发明了生产这种卷筒纸的机器。1835年，以印制一便士邮票闻名的希尔(Rowland Hill，1795—1879)在法院街44号开始用卷筒纸进行印刷。然而，当时的纸张税收制规定每张纸上都要贴一枚印花，所以在税收部门看来这样的印刷是不允许的。1865年，费城的布洛克(William Bullock)发明了第一部使用连续卷筒纸的新闻纸轮转式印刷机(图376)，首先为《费城探询者报》(*Philadelphia Inquirer*)印刷所采用。几乎与此同时，《泰晤士报》也完成了同一方面的试验。1866年，他们取得了著名的沃尔特印刷机(the Walter Press)的专利，并在1868年第一次用这部机器印出了报纸。两种印刷机的主要区别在于，布洛克印刷机在纸卷进入机器时就被切断，实际上是单张纸

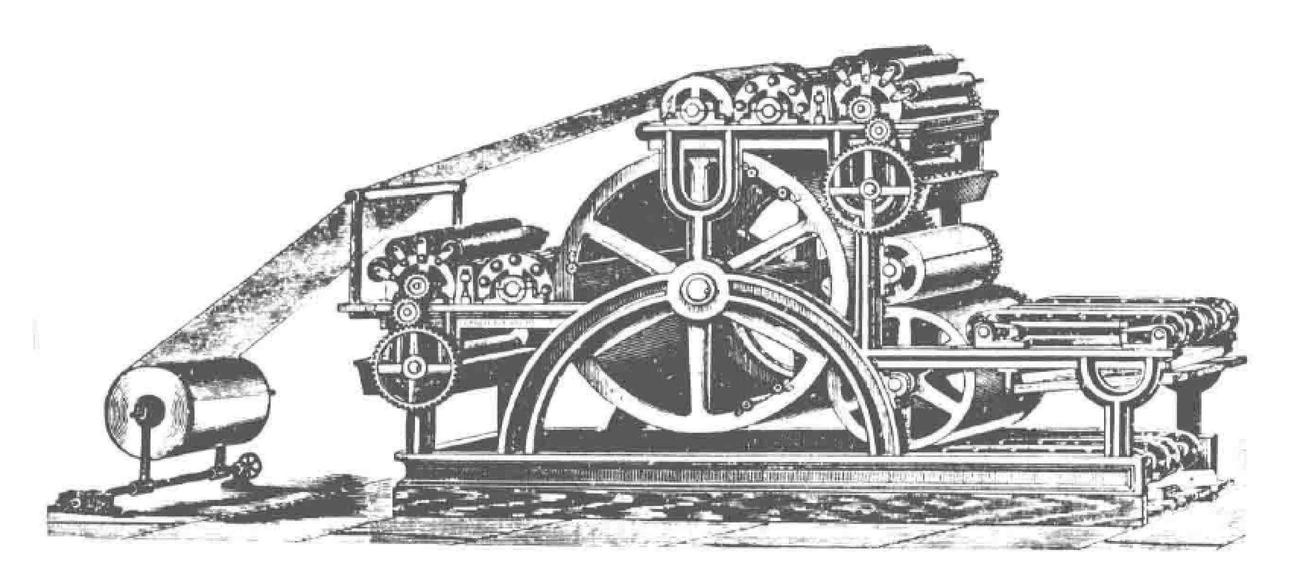


图376　费城的布洛克制作的印刷机，该机用连续卷筒纸印刷，1865年。

印刷，而沃尔特印刷机的纸卷在印完之后才被自动裁切成单张。

这些机器对霍氏公司是一个挑战，迫使它鼓励生产在快速印刷中不会蹭脏纸张背面的快干油墨，还说服造纸商生产价格低廉、品质较均衡的卷筒纸。霍氏“双面卷筒”印刷机的研制成功，完全证明了他们的努力并没有白费，因为这种机器集其他所有机器的长处于一身。在法国，马里诺尼（Marinoni）公司研制出一种具有重要特性的轮转印刷机，其中包括将印张整齐地堆成四堆以待折叠的装置，以及不停机把一卷纸的末端接到另一卷纸上去的装置。

下一步的发展是在印刷和裁切纸卷后能够折叠报纸的轮转印刷机，以供报刊经销商搬运。利物浦的邓肯－威尔逊公司（Duncan & Wilson）完成了这项工作，在1870年为《格拉斯哥星报》（*Glasgow Star*）制造了胜利牌轮转印刷机。

从那时起，主要的问题就是报纸的扩版，这就促使人们去制造既能印刷又能插入和折叠各种不同页数报纸的机器。这些机器实际上由多个部分组成，每个部分都在各自的滚筒上印刷，但随后都将印好的纸送到同一地点折叠、插页，成为一份份完整的报纸。

29.7 插图

图画报纸是指以插图为主要特点的报纸，起源于英国的《每日写真报》（*Daily Graphic*），它在1890年1月4日第一次出版发行。

在此之前的许多年，插图就已偶尔出现在单张报纸上。早在1513年，一本最早的题目为《真实的遭遇》（*Trewe Encountre*）的新闻小册子就用一幅战斗场面的木刻画，描述了苏格兰人在弗洛登（Flodden）战败的情景（图377）。在谈论某一重要事件而作为特别印刷物发行的加急时事通讯和新闻小册子上，类似的木刻画也时常出现。在欧洲大陆，这种时事通讯和新闻小册子比较普遍，出版也较定期，它们是我们今天所看到的报纸的前身。

广告商们很快看好插图的价值。到18世纪初期，出现了一些旨在吸引人们注意的介绍各种各样药品、外科用腰带以及化妆品优点的配合文字说明的小木刻画。

Here after ensue the trewe encountre or
Batayle lately don betwene . Englande and :
Scotlande . In whiche batayle the . Scottsshe .
Kynge was slayne.



The maner of th'aduauncesynge of my lord of
Surrey tresourier and . Marshall of . Englande
and leuetenante generall of the north ptles of th
e same with xxvi . M . men to wardes the kyn-
ge of . Scottz and his . Armye vewed and nom/
bred to an/hundred thousande men at/the leest.

图377　一幅取自《真实的遭遇》新闻小册子的木刻作品。伦敦，1513年。

到了18世纪90年代，《纪事晨报》(*Morning Chronicle*)和《观察家报》(*Observer*)对重大事件都附了插图。不过，多年来几乎只有这两家报纸在这样做。到了19世纪20年代，木刻画已成为卡特纳赫(J. Catnach)和另外一些人发行的宽幅报纸的一大特点。这些报纸主要用图画和文字来报道王室婚姻、海难和公务执行情况之类的消息，以满足平民百姓渴望详细了解每天所发生的最新事件的愿望。这种报纸单色的每份1便士，彩色的每份2便士，尽管粗糙且常常不够准确，但插图还是显示了自己的价值。毫无疑问，它们对后来的报纸和周刊产生了巨大的影响。

当时报纸的插图非常少见的一个重要原因是，插图四周有一大片小铅字，使用老式的手动印刷机很难印刷。不过，铁制手动印刷机和动力更大的印刷机解决了这个难题。

从1820年到1840年，英国至少创办了2000种新的报纸和期刊，其中很多都带有插图，其他国家也有类似的情况。1832年，奈特(Charles Knight)创办了《一便士杂志》(*Penny Magazine*)，登载了题材十分广泛的"文摘信息"，印制出精致的木刻肖像画、风景画和大量艺术珍品，销售量很快达到每周18万册。当时的《旁趣

周刊》(*Punch*，1840 年)、《伦敦新闻画报》(*Illustrated London News*，1842 年)、《一便士画报》(*Penny Illustrated Paper*，1862 年)以及《写真周报》(*Graphic*，1869 年)等各家报纸期刊，都是以插图为其主要特征的。

到了 19 世纪最后 25 年，照相制版使插图发生了革命性的变化。据考证，涅普斯(Nicéphore Niépce)在 1822 年拍了第一张照片(边码 719)，塔尔博特(Fox Talbot)在 1835 年冲洗出了第一张照相负片(边码 723)。有了负片，便可以印出任意数量的正图。然而，直到 19 世纪 80 年代才制成了照相版，这种印版可以像手雕木刻版(图 378)



图 378　木雕工在工作。

那样顺利地印刷。《每日电讯报》(*Daily Telegraph*，1881年)是最早使用照相线条网凸版——即今天所说的锌版——的报纸之一，但首先大量使用这种插图的却是《每日写真报》。只有艺术家画在白纸上的黑色线条画才适用于这种制版方法，因为这种线条画存在的是诸如刻影线和点等线条结构的变化，而不需色调的变化。将图画摄成负片，然后同一块事先涂过感光剂的锌版叠放在一起，放到强灯光下曝光，再将锌版拿到暗室内，薄薄地滚上一层印刷油墨。接下来，将锌版浸入水中，当用棉花球擦拭时，可溶性部分被冲洗掉，而不可溶部分——画上的线条——则保留在锌版上，然后对锌版进行腐蚀，使线条凸出来，最后将锌版装到木头底板上，使之和铅字具有相同的高度(0.918英寸)。 703

半色调 无论是木刻凸版还是线条锌版，都不可能再现照片或艺术家淡水彩画的色调。半色调工艺则可以在报纸上尽可能再现这种色调，方法是将照片的渐变色调转变成印版。在制作印版时，先在制版照相机的底片前面插入十字线网屏，把原图拍摄下来，即将照片分割成数千个大小各异的像点，这些像点包括暗调区域的粗点和高光部分的细点。从正常距离看印刷品时，网点的组合构成不同色调的各个部分，从而形成了照片。根据纸张光滑程度的不同，使用的网屏从每英寸80线到135线不等。现今使用的网屏线数在55—200之间。报纸印刷使用较粗的网屏，书中与正文分开的整页插图却需要较细的网屏，以获得最好的图片质量。用这种细网屏制成的印版，必须使用涂过白色浆料的极光滑的纸才能达到良好的印刷效果。这种"艺术纸"虽不受欢迎，却是至今我们仍离不开的一份遗产。 704

从1877年起，报纸印刷开始使用半色调印版。根据埃德(J. M. Eder)在《摄影史》(*History of Photography*)中的记载，莫利茨(Moritz)兄弟和维也纳的雅费(Max Jaffé)曾用纱网制作半色调印版。在美国，霍根(Stephen Horgan)首次在《纽约每日写真报》(*New York*

Daily Graphic）上使用半色调工艺。4年之后，《哈珀月刊》（*Harper's Magazine*）也跟着使用了这一技术并进行了多项改革。慕尼黑的迈森巴赫（Georg Meisenbach）可以被看作商业半色调工艺的创始人，他第一次使用了给负片曝光时反转的单线网屏，而他的英国分公司却利用勒维（Max Levy）网屏。后者由两块黏结在一起的玻璃组成，每块玻璃分别刻有涂有黑色颜料的平行线条，黏结时两组线条十字交叉，构成了细微的透明方块。1894年，《每日写真报》已经用上了半色调工艺。到了1900年，这项技术已经普遍应用于大多数周报了。然而在质量方面，这些半色调印版粗陋模糊，必须进行相当程度的手工雕版才能使它们"栩栩如生"。在过去的50年中，半色调制版和印刷工艺有了巨大的改进，几乎世界上每家报纸都将这些技术投入实际运用，《泰晤士报》末页的半色调照片位于当今世界最高水平之列。

彩色印刷 半色调工艺发明后不久，就有人试图将它用于彩色印刷。人们在运用摄影的三原色原理方面已经取得了一些进步，很快便认识到如果三块半色调负片可以代替原稿中的黄、红、蓝三种颜色的话，就有可能制造出三块独立的印版。在这些印版上涂以适当颜色的油墨，并在同一张纸上连续准确地套印，就可以印出近似于原稿的彩色印刷品。后来，人们用滤色镜对要拍摄到负片上的颜色补色，终于达到了这个目的。要想在负片上得到图画上所有的蓝色，就使用补色橙（红+黄）滤色镜，要得到红色就使用绿滤色镜，要得到黄色就使用紫滤色镜。制作彩色底片的时候，要使用半色调网屏把图片分割成网点。虽然这一工艺的理论很完美，但还必须对滤色镜、感色底版、合适的彩色油墨、精确套准等问题进行大量研究，才能取得真正的进展。

705

彩色木版印刷术 这是19世纪彩色印刷中最令人关注的印刷工艺之一。图画由一系列手工刻出的木版印制而成，每块木版用一种

颜色。用这种方法印制出来的图画具有透明质感，这是大多数其他方法难以达到的。萨维奇（Savage）在1820年将这种方法加以改进并达到相当完美的程度，但它直到19世纪中叶才开始普及。在使用这一方法方面，最有影响的两名从业者是埃文斯（Edmund Evans）和福西特（Benjamin Fawcett）。福西特在无人帮助的情况下取得了卓越的成绩，成为独立成才的典范，他为莫里斯（Morris）的《英国的鸟类》（*British Birds*）一书印制的插图极为成功。埃文斯之所以给人们留下深刻印象，主要由于他把克兰（Walter Crane）的绘画刻成了彩色印版，并印制了格里纳韦（Kate Greenaway）和考尔德科特（Randolph Caldecott）为孩子们写的书。除了维也纳1856年创办的克诺弗勒（Knöfler）公司之外，彩色木版印刷术在欧洲大陆并没有得到广泛的应用。这家公司的产品具有极高的质量，主要是用许多颜色（包括金色）来描绘圣徒、传教士以及其他宗教方面的题材，印刷品几乎和原稿一样美轮美奂。这些作品至今仍然使教堂的四壁相映生辉，光彩夺目。

1835年取得专利的巴克斯特（Baxter）制版法也属于这一类。巴克斯特使用的木刻印版多达20块，他把油画颜料涂到钢制镂空雕版上，精湛的处理方法和令人赏心悦目的配色独树一帜。直到今天，巴克斯特及其他专利获得者生产的印刷品仍被收藏者视为珍品。

19世纪90年代还有一些不太出名的制版方法，其中之一便是奥尔索尼（Orsoni）的凹版水印法。在凸版印刷术发明之前，人们使用模版为图片和纸牌上色。自那以后，这种方法在许多装饰艺术品中得到了应用。奥尔索尼把模版印刷法应用到这样一些印刷机上，它们当时在法国主要用来为妇女时装杂志、早期“连环画”和19世纪初风靡一时的廉价图画明信片上色。从线条印版印出图画的黑色轮廓后，印张被送上传送带，依次送到各块模版下，使用多少种颜色，就有多少

块模版。待印张与模版对准位置后，机械装置带动一些大圆刷子从模版上刷过。虽然这样印出来的东西是粗糙的，也很少完全套准，不过水性彩色油墨颜色鲜艳，透明度高，印刷效果对于保存时间不长的出版物来说已经足够令人满意了。我们今天广泛用于招贴的模版丝网印刷法，就是20世纪发明的。

706

石版印刷 19世纪的彩色印刷主要是石版印刷，即在经过处理的石头表面进行印刷的方法。石版印刷是19世纪前几年一位名叫塞内费尔德（J. A. Senefelder）的布拉格人发明的，在印刷工艺中至今仍然占据着重要的地位。与用机械方法制作的木刻凸版和照相版不同，石印是利用化学性质的平版印刷方法。制作石印版的方法有两种，一种是画家用石印油墨或蜡笔直接在石头上作画，石印油墨和蜡笔是多种原料的混合物，其中含有牛脂、蜂蜡、肥皂和足够的颜料，颜料的含量应以画家能看清他的画面为准。另一种方法是在一种经过特别处理过的纸上作画，然后转印到石头上。直接在石版上作画时，画面必须是反的。印刷时，要用水全部浸湿石头。由于构成画面的油墨线条或蜡笔线条是脂性的，自然会排斥水，所以只有没沾上油墨或蜡笔的部分才能保持湿润。趁石头还很湿的时候，印刷工在整个石头表面上滚上厚厚一层合适颜色的油墨。这层油墨黏附在油性的画线上，而不会粘在石版潮湿的部分。

用石印进行彩色印刷时（*彩色平版印刷*），一种颜色或者一种色调就需要一块石版，这样，复制一幅油画或水彩画就要有多达20块的石版。这种彩印方法是美术印刷品鉴赏家和出版商们一直翘首盼望的一种艺术手段，它以复制画家作品或进一步印制书籍插图的巨大潜力吸引了许多著名的艺术家。书籍插图由于无法同正文一起印刷，常常先印在薄纸上，然后贴到书中留出的空白页上。这方面的卓越成就反映在肯皮斯（Thomas à Kempis）的《效法基督》（*Imitatio Christi*）中，它由巴黎的勒梅西埃（Lemercier）制版（1856—1857年），画的四

边饰有早期的手稿。这些成就也反映在琼斯（Owen Jones）《装饰基本原理》（*Grammar of Ornament*）一书中，该书由戴父子公司（Day & Son）印刷，他俩都是伦敦第一流的彩色石印家（1856 年）。在阿伦德尔协会（Arundel Society）自 1856 年以后在英国和德国印制的意大利壁画中，彩色石版印刷的成就也得到了体现。它在从菜单到瓶贴等各种各样的商业活动中得到广泛应用，例如在雄心勃勃的德国，备受那一代人青睐的廉价贺卡充斥着市场。

早期的石印品由各种碾压型的铜版印刷机印制，但后来发明了一种印刷机，当纸张在刮板装置下面通过版台时，能向纸张施加更大压力。由于担心这门艺术的商业效果，石印工人的态度甚为固执，因而采用机器印刷的进程非常缓慢。维也纳的西格尔（G. Sigl）是制造动力印刷机的第一人（1852 年），法国工程师昂盖（M. Engues）对这种印刷机做了改进，并在英国和美国出售。大约在 1870 年，人们就能买到第一批专为这种印刷方法而制造的实用平压平印刷机。在后来的 10 年中，大量使用粗糙的锌版来代替笨重的石版，机器的精确度和速度都有很大的提高，因而世界各地的平版印刷公司数量也大大增加。在 19 世纪的最后 10 年中，半色调工艺在平版印刷中得到了普遍的应用，并引入铝版作为印刷面。接着，世界各先进国家就制造更完善的轮转印刷机而展开了竞赛。为了达到更快的印刷速度，这种轮转机的滚筒表面包上一层薄印版。平版胶印术的发明是 20 世纪的事情。在这种工艺中，图文先转印到由橡皮布覆盖的滚筒上，然后再转印到纸张、木板或其他材料上。

珂罗版印刷　在此还要提及另一种平版印刷法——珂罗版印刷法，它所依据的是油水不相容原理。19 世纪下半叶，这种印刷法首先在欧洲大陆——特别是在德国和法国，然后才在英国实现了商业化。出现这种现象主要是由于欧洲大陆具有稳定的气候条件，而英国的气温和湿度变化很大，不利于高质量的印刷工作。与其他印刷工艺相比，

珂罗版印刷是更纯正的照相工艺，它不需要加网，可以复现照片、艺术家素描或绘画中最精细的色调和层次。由于印版表面是胶质的，所以每块印版的印数有限，因此这种印刷方法只适用少量的精印插图或招贴画。印刷表面是一块玻璃，上面涂有由明胶和重铬酸钾组成的感光乳剂。将玻璃版放在一张反图（左变为右）的负片下曝光，这张负片也许是线条构成的，也许是色调构成的，还可能两者兼而有之，曝光的结果使乳胶与受到的光照量成比例地硬化。原稿高光区域中的暗调部分，即负片中透亮的部分，硬化得最厉害。而原稿高光区域即负片中的深暗部分，阻止了光线与感光版上的重铬酸钾接触，因而这部分的乳胶仍然是软的。在高光和暗调两个极端之间，不同的乳胶软硬度完整地表现出色调的不同层次。洗去未经曝光的重铬酸钾后，将感光版浸泡在甘油和水的混合液中，乳胶吸收这种混合液的量与其硬度成比例，乳胶越软的部分吸收得越多。当油墨涂在印版上时，变硬的印版部分，也就是照片的暗调部分吸墨最多，其他部分则按明胶吸水的多少不吸墨或者吸墨很少。在这种印刷中，人们采用了包括手动印刷机到大型石印机在内的各种各样的印刷机器，但是后来发明了专用的珂罗版印刷机，先后投放到法国市场和德国市场，还有几部进入了英国市场。1893 年，由弗尼瓦公司（Furnival & Company）制造的第一台英国造珂罗版印刷机投入使用。用这种工艺制作的彩色印版效果极佳。三色工艺不适用于珂罗版，所以为了保留原稿中所有的颜色，经常需要 8 块或更多的印版。这样一来，成本大大提高，使得一般的书籍插图无法采用这种印刷方法。

照相凹版印刷 ［塔尔博特（Fox Talbot，1852 年）］19 世纪末期，一种在印版表面进行蚀刻的凹版印刷方法在商业应用中业已成熟。它不是凸版印刷，也不是平版印刷，采用照相凹版印刷时，首先用照相方法将原稿的正片转印到抛光铜版上，然后将十字线网屏印到图像的上面，最后对铜版进行腐蚀处理。通常，网屏在每英寸 150 线左右，

因为受到彻底保护不会被酸液所腐蚀，网屏线条之间的空间却受到深浅程度不同的腐蚀，图片上极暗调就是受腐蚀最深的部分。印刷过程中，被腐蚀溶解的坑洼处填满了薄层油墨，表面上多余的油墨则用刮墨刀压到交叉线上刮去。原来使用平面铜版，后来则直接腐蚀铜版滚筒，然后放到高速轮转机上印刷。近几年来，轮转凹版印刷已成为印制发行量大、带插图期刊的最佳方法。

29.8 零件印刷

除了一些专门印刷书籍或出版报纸的公司之外，还有另外一种在19世纪称为普通零件印刷（图版39）的行业。如果不从重要性而从规模上来讲，这种行业在当时无疑是最为庞大的。据估计，19世纪末仅伦敦至少就有8000家从业公司承揽从名片、空白单据到目录和时刻表之类的各种印刷业务。作为比较的事实是，当时大约有2000家报社，而从事书籍印刷的城镇还不到二十几个。

虽然印刷史上很少谈到零件印刷，但这种印件的数量一直比较可观。零件印刷品是短命的，所以印刷内容一旦过时就无法存在。随着商业、贸易、铁路、船运和体育娱乐的发展，零件印刷品的种类和数量都在不断增长，就像小农庄变成大城镇、海边渔村变为疗养胜地一样，许多个人经营的印刷作坊发展成了大公司。

19世纪前半叶，零件印刷匠们使用的是铁制印刷机。这种机器结构简单而牢固，几乎坚不可摧，许多机器连续用了整整一个世纪。不过有一些（也许是大部分）较小型的印刷所却只使用老式的木制印刷机，因为它的价格最便宜，当地的细木工就可以进行维修或改进。但是，即使只印单据、名片和标签，手动印刷机也难以适应大宗印刷任务。不论手动印刷机的尺寸如何，每小时印量都难以超过250张，因而利润很低。19世纪中期，每1000份传单常常卖不到5先令。通常的做法是把零星活积攒起来，有的时候派一名推销员一次出

去一个星期，随后将几项小额任务拼成大版后在同一架机器上一起印刷，印完的纸由装订工人用刀和尺或者用切纸机按要求裁切。传单是当时最普遍的广告形式，街上常可以看到散发传单广告的人。史密斯（William Smith）在一本关于广告的书中说道，他在 1861 年绕着伦敦商业区和西区散步的时候，每过一个十字路口都会收到一些传单和小册子，走完这段路程一共收到 250 份[3]。

一直到举办万国博览会的 1851 年，一架理想的零件印刷机才被制造出来。在此之前的好些年里，拉格尔斯（Stephen Ruggles）一直在进行机械印刷机的试验。他是马萨诸塞州波士顿的一名有发明才能的印刷匠，1839 年制成了所谓的“机车印刷机”。这是第一架能自动上墨的脚踏零件印刷机，按照手动印刷机的模式制造的，版台和压印版都是水平的，但铅字在上面，压印版在下面。虽说这台机器工作情况良好，在美国很容易销售，不过有好几个缺点，尤其存在松动的铅字可能从悬挂着的印版上掉落下来的危险。1851 年，拉格尔斯制作了一架构造简单得多的印刷机，被誉为第一架带竖直版台的印刷机。这一创新一直到今天还用在零件印刷机上。压印版铰接在印刷机的基座上，因而可以前后摇摆，在印版上进行压印。印版是滚筒的扁平部分，输墨辊围绕滚筒转动，没有被印版占据的地方用作均匀分布油墨的台面。这种“名片、单据印刷机”的主要优点是，除了印刷的那一瞬间外，铅字印版和纸张总是看得见的。这种机器很小，装铅字的版框只有 4.5 英寸 ×7.5 英寸。

710

戈登（George Phineas Gordon）是纽约的一位小印刷业主。受到拉格尔斯设计的影响，他也在（1851 年）将自己的鳄式印刷机投放到美国市场。这种机器的压印版呈 45° 角固定在机器上，版台不工作时是竖直的，印刷时则向前翻下。但是，由于没有警报装置提示什么时候会发生这种迅速的转换，如果输纸人粗心大意的话，他的手指迟早会被夹在压印版和印版之间。那一年的晚些时候，戈登在他提出的

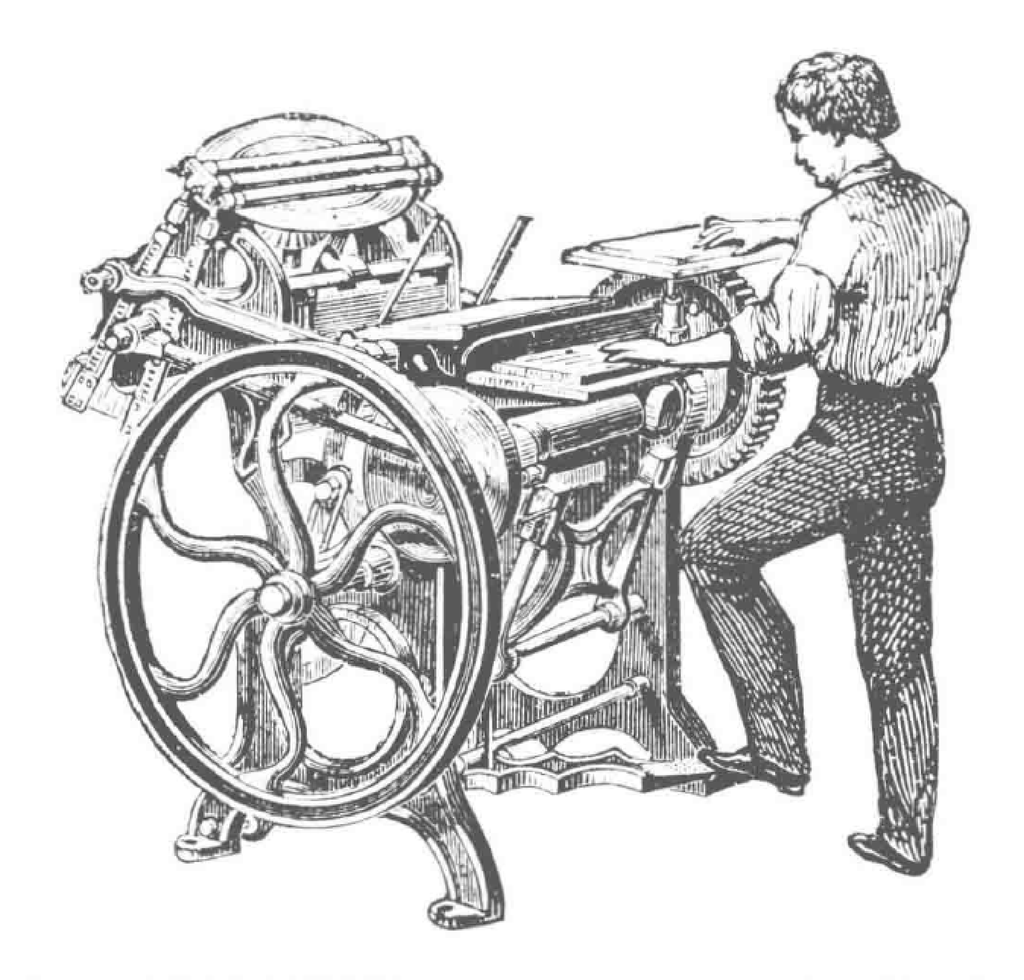


图 379 克罗珀公司的米纳尔娃，第一架英国制造的脚踏板印刷机。该机以手、脚和蒸汽为动力。1860 年。

另一项专利中描述了此后几项设计的基础。在这项专利技术中，版台处于固定的竖直位置，压印版在操作者面前几乎呈水平移动。经过多次改进之后，戈登以“富兰克林”命名这种印刷机并投放市场，获得了巨大的成功，通过 1862 年伦敦万国博览会被引进欧洲，并很快流行起来。在伦敦，克罗珀公司很快安排生产这种机器，并把它叫作米纳尔娃(Minerva)（图 379）。此后，克罗珀成了印刷匠之间一个通用的术语，他们把不管是谁制造的脚踏板印刷机都称作“克罗珀印刷机”。这种机器曾风靡一时，并且在当时满足了人们对它提出的一切要求。不久，其他制造商纷纷将改进过的新型印刷机打入市场以适应新的需要，其中包括“自由”印刷机。这是最早为本行业提供的一种印刷机，调墨圆盘或调墨板装在背面。新型机器

711

中还包括适用于较重工作的“通用”印刷机，其输墨装置有了很大的改进，尤其适合于木版印刷。迈特印刷机是另一种新型机器，它的压印版以严格平行的位置被带到印版面上，因而避免了早期机器中经常出现的印字模糊的现象。此外，还有许多其他品种的印刷机。人们曾广泛使用功率较大的平压平印刷机来进行压痕、卡片折纹等印后加工处理，直至市场上出现了用于印后工序的专用机器。

直到18世纪的最后几年，除了印书籍的大号字体外，零件印刷中还没有易于阅读的合用铅字体。在19世纪的头十年里，印书铅字体却发生了潜移默化的迅速变化，由于使用衬线和纤细的笔画，字体变得日趋醒目。用丝网模制作的纸张表面更加光滑，用途更加普遍，字体的设计趋向于粗细笔画对比更为鲜明。但是，读者对舒适感的要求限制了书籍铅字体的发展，笔画粗细得当的“粗黑体字”在零件印刷领域中则找到了或者说开辟了新的市场。这种粗黑有力的醒目字体流行了30年。大约在1840年，也许是为了反对那种流行的字体风格，醒目字体和装饰字体又朝精致轻巧方面稳步发展。在书籍铅字体上也发生了类似的变化，又小又窄的字体节省了油墨和空间。平版印刷在模仿雕刻师花体字方面的成功，也是有助于使用新字体的一种征兆。许多新字体都很接近于绘制的平版印刷字母，而且种类繁多的字体对于那些渴望跟上时代步伐的印刷公司无疑是一个巨大的负担。实践证明，对于印刷“艺术性强的”零件中的精致字体、花边、花边角以及花饰线，我们前面提到的结构简单的平压平印刷机都是非常理想的。

29.9 书籍印刷

除了对一些排字机进行过试验之外，书籍印刷在整个19世纪都是用手工排字的，直到这个世纪的最后几年，美国的一些书籍用莫诺铸排机排字。从那时起，大部分英国印刷商都采用这种机器，其他国

712

家也有一些印刷商跟着去做，这主要是因为莫诺公司能提供从大到小的一系列典型字型。莫诺铸排机（参见边码685）铸出单个的铅字，由穿孔的纸带驱动。使用键盘给纸带穿孔，键盘操作人员同铸字工没有任何关系，后者可以在另一个房间甚至另一个国家。纸带和铸排机由压缩空气带动，纸带的动作与同一类型的穿孔纸在小型钢琴式铸排机上的作用相类似。字模是一个4平方英寸的钢板，钢板上面有一整套字母和其他必需的活字。一系列巧妙的手柄操纵着字模，并将它们移到指定的位置，铸出所需要的任何字母或数字来。这项工作做起来很快，出了差错只需将单个的错字换掉，而莱诺铸排机则必须重新铸造整行铅字。

1850年以前，平压圆印刷机的发明者们一直在集中精力完善快速印报机的性能，而那些更加注重良好印刷质量的书籍印刷商则满足于手动印刷机或蒸汽平压印刷机，后者只不过是使用动力的手工印刷机而已。但在此之前有一段时期，也曾试用过一些构造简单的通常用手操作的小型滚筒印刷机，例如拉特印刷机。19世纪50年代以后，这种型号的印刷机在美国、欧洲大陆和英国得到了极大的改进，并逐渐被书籍印刷业者所采用。因为版台的后移运动要占去一半时间，这种印刷机的速度显然要比轮转印刷机慢得多。如果要加快速度，反复变换方向对于机械更是一个沉重的负担。然而，印刷机的印刷速度还是在不断地加快。由于可以完全控制压力、输墨、输纸、收纸等程序，这种类型的印刷机印书效果良好，是一种理想的设备。

1870年以前，为了得到良好的转印效果，印刷前所有的纸张都必须弄湿后再风干。纸张的干燥需要花费一定时间，也增加了印刷所失火的危险。这种情况一直持续到纽约的维尼（Theodore de Vinne）在印刷《世纪杂志》（*Century Magazine*）时成功地使用了干压光纸，他的这种方法很快传到了其他国家。

29.10 纸张

713 由于印刷商、文具商和其他商人对纸张的需求量不断增加，到1850年时，造纸商们发现难以弄到足够的亚麻、棉布碎片等造纸的主要原料去满足日益增长的市场需求(第Ⅲ卷，边码411—416)。在碎布片中加入稻草、麦秆作为原料，这在某种程度上解决了一些问题。但是，其他原料的使用也很重要，尤其像英国这个纸张消耗量在全世界领先的国家。大约在1855年，由于从西班牙和北非引进了一种茅草，纸张生产原料紧张情况才得到了某种程度的缓解，但后来证明这只不过是暂时的缓和而已。直到用上了一种叫作木浆的材料，这个矛盾才真正得到解决。过去的两个世纪中，这种材料一直是试验的对象。采用茅草后不久，人们围绕在商业规模上应用木浆的问题进行了初步尝试，将树砍成圆木，再用在水中旋转的砂轮将圆木磨成木浆。不过，由于诸如树脂等大量杂质和纤维质混合在一起，这种用机械木浆制成的纸质量很差。到1873年，很完善的化学方法已经形成，能从纸浆中剔除大量杂质，即用各种各样的碱性或酸性的试剂来煮沸木屑。1890年，人们用这种化学木浆生产了大量的纸张，而化学木浆与机械木浆和茅草浆的混合物成为文具业和印刷业所需要的许多特殊用纸的配料[4]。其中值得一提的包括轻软而富有弹性的“仿古布纹纸”，它在旧式的“三卷本”小说过时之后才开始采用。另一种叫“印第安”纸，像丝绸一样薄，看上去很悦目，但不透明，非常牢固，用于印制印数很少的书籍。还有一种很光滑的“铜版纸”(边码704)，在表面上涂过白色浆料，用于精细的半色调复制。

29.11 书籍装订

几乎装订行业的每个部门都采用了机器。18世纪的惯例是出售另行装订成册的散页书，或者出售一些带廉价“羊皮”或小牛皮封面

的书。在拿破仑战争期间，书价飞涨，人们接受了采用衬纸的硬纸面装订的办法。采用“书壳”是装订方法上的一次革命，代替了那种很费力气的皮面装订（约 1825 年）。据说皮克林（William Pickering）第一个用布制作了较便宜的书壳，装订他出版的流行诗歌集。先单独制作书壳，然后通过纸带将书壳同由线装订的书页粘在一起，从而使机器有了用武之地。素装和烫金封面装帧法为热压印装帧法取代，因为后者一次就可以独立完成整个封面的装饰加工（约 1832 年）。遗憾的是，尽管人们发明了许多锁线机器，书籍装订业却没有等到 1878 年锁线装订机大量上市，就在 1875 年从美国引进了一种便宜的低档铁丝装订法，著名的图书出版商贝德克尔（Baedeker）是最早使用这种装订方法的人之一。不过，装订用的铁丝很快就会生锈，因而书页会散开。另一种方法是切去书脊，然后在平整的切面上涂上一层柔性“胶”——通常为一种橡胶溶液，只是最终结果也不理想，这种胶会很快失效，书页也会散开。现在的“无线装订”使用的塑料胶黏剂可以持续较长的时间，但锁线装订无论过去还是现在仍是一种最普通、最可靠的方法。在 19 世纪的最后几年中，美国的快速装订机大量涌入英国市场，它们装有自动输纸装置，并且都是为大批量生产而专门设计的。

714

29.12 工资和培训

在我们所考察的这半个世纪中，印刷业及其相关行业的工资略高于其他行业，然而工人失业现象却很严重，这主要是因为大量雇用了低报酬的童工，有些童工只有 9 岁或 10 岁。7 年学徒期的学徒工数量过多，他们常常对自己学徒期满后在印刷行业里的前途漠不关心，这也降低了熟练印刷工的工资。许多学徒工很少受到培训，他们只不过是劳动力而已。

1875 年在维也纳，1876 年在柏林，1878 年在安特卫普，先后

兴建了第一批技术学校。英国的技术教育可以溯源到1823年的格拉斯哥机械学院（第33章），同样的思路传到了其他城市，导致了兴建公共图书馆的运动，也导致了建立现代化的技术学院，曼彻斯特技术学院（1883年）、伯明翰技术学院和利兹技术学院就是一些实例。在伦敦，古老的同业公会基金被集中用来资助伦敦商业区和同业公会学院（1878年）。1883年，雷根特街工艺专科学校建立。1894年，圣布赖德印刷学校建立，它得到了伦敦商业区教区的居民在很久以前建立的慈善遗产基金的资助，后来发展成为著名的伦敦印刷和雕刻艺术学校。这所大型的单科技术学校现有学习印刷及相关科目的学生7000名。

直到今天，印刷行业的学徒工仍保留着沿用了几百年的绰号——“印刷厂的小鬼”，但在19世纪的先驱者们看来，展现在他们面前的肯定是充满着成功机会的乐园。

相关文献

[1] See 'Friedrich Koenig und die Erfindung der Schnell-presse. Ein biographisches Denkmal' by Theodor Goebel (Stuttgart, 1883), which attempts to prove that to Koenig alone the world is indebted for the invention of the steam printing-press. For a criticism of this work see "The Invention of the Steam-press" by William Blades, a series of articles contributed to the Printer's Register, , 1883–1884.

[2] Eder, J. M. 'History of Photography.' Columbia University Press, New York. 1945.

[3] Smith, W. 'Advertise. How? When? Where?' London. 1863.

[4] The growth of the paper industry between 1850 and 1900 was computed by A.Dykes Spicer in 'The Paper Trade' (Methuen, London, 1907) to be: 1850. Vats for hand-made papers 200=5426 tons ; machines 267=57 535 tons.
1900. Vats for hand-made papers 104=3886 tons ; machines 539=647 746 tons.

参考书目

Bland, D. 'The Illustration of Books.' Pt I: 'History of Illustration' ; Pt Ⅱ : 'The Processes and their Application.' Faber & Faber, London. 1951.

Burch, R. M. 'Colour Printing and Colour Printers' (with a chapter on "Modern Processes" by W. Gamble). Pitman, London. 1910.

Green, R. 'History of the Platen Jobber.' Privately printed, Chicago, Ill. 1953.

Idem. 'The Iron Hand Press in America.' Privately printed, Rowayton, Conn. 1948.

Isaacs, G. A. 'The Story of the Newspaper Printing Press.' Co-operative Printing Society, London. 1931.

Legros, L. A. and Grant, J. C. 'Typographical Printing Surfaces: the Technology and Mechanism of their Production.' Longmans, Green, London. 1916.

Leighton, D. 'Modern Bookbinding: a Survey and a Prospect.' Fifth Dent Memorial Lecture. Dent, London. 1935.

Niepp, L. 'Les machines à imprimer depuis Gutenberg.' Club Bibliophile de France, Paris. 1951.

Plant, Marjorie. 'The English Book Trade: an Economic History of the Making and Sale of Books.' Allen & Unwin, London. 1939.

Southward, J. 'Progress in Printing and the Graphic Arts during the Victorian Era.' London. 1897.

'The Times. Printing Number' (reprinted from the 40 000th issue, September 10th, 1912). The Times Publishing Company, London. 1912.

Wilson, F. J. F. and Gray, D. 'Practical Treatise upon Modern Printing Machinery and Letterpress Printing.' London. 1888.

打字机：

Ministry of Education: Science Museum. 'A Brief Outline of the History and Development of the Correspondence Typewriter with Reference to the National Collection and Description of the Exhitits' by G. Tilghman Richards. H. M. Stationery Office, London. 1955.

第30章　摄影术

第1篇　摄影

赫尔穆特·根歇姆
（HELMUT GERNSHEIM）
艾利森·根歇姆
（ALISON GERNSHEIM）

1839年公之于世的摄影术激起了广大公众的想象力。在首次观看了达盖尔银版照相法后，艺术家德拉罗什（Paul Delaroche）惊呼"绘画将从此走向死亡"。摄影在当时仅仅被认为是一门独一无二的"新艺术"，没人预见到它会在现代文明中发挥重要作用。然而到19世纪末，摄影术已成为科学、医学、工业、商业、报刊图片、书籍插图和其本身的分支——电影摄影术不可或缺的技术。

在18世纪，作为摄影术基础的光学原理和化学原理就已经普及了，而摄影术直到19世纪才发明，这始终是摄影史上的最大疑团。摄影术的推迟出现，肯定不是经年累月的试验失败所致，而是因为在1800年以前根本没有人闪过这个念头。

30.1　摄影术的前史

（ⅰ）照相机暗箱　摄影装置直接起源于暗箱。正像它名字的含义那样，刚开始时的暗箱仅是一处暗室，壁上或窗板上有一个小孔，外面景物的像通过小孔倒映在小孔对面的壁上或白色的屏幕上。早在900多年前，海赛木（Alhazen，965？—1039？）就曾描述过暗室的原理，并建议用暗室来观察日食。在5个多世纪里，暗箱的功效仅限于此（图380）。最初设计暗箱是为了避免直视太阳时眼睛受到伤害，

但观察者们同时发现，用它观察外面街道的投像也非常有趣。

在 16 世纪，光学的发展使得人们能够获得更为明亮和清晰的图像。卡达诺（Girolamo Cardano，1501—1576）把一个双凸面透镜嵌入暗箱的小孔里（1550 年），巴尔巴罗（Daniele Barbaro，1528—1569）设计出一种装置，把一个光圈放在凸透镜之前（1568 年），丹蒂（Ignatio Danti，1536—1586）通过插入一块凹面镜，把倒像转换成正像（1573 年）。1558 年，波尔塔（Giovanni Battista della Porta，1538—1615）建议画师勾出投像或画面的轮廓，以便减轻工作量并获得完美的透视效果。

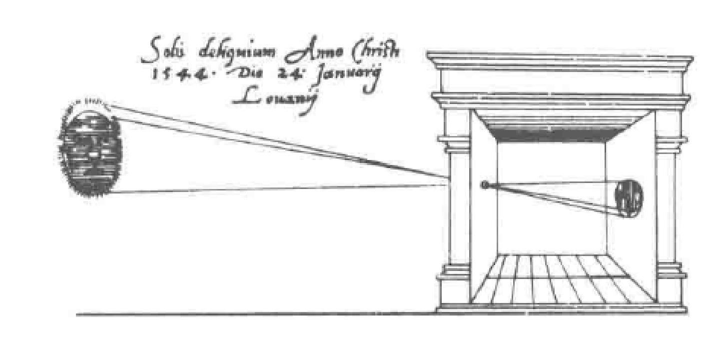


图 380　照相机暗室的第一幅示图，由弗里修斯（Gemma Frisius）于 1545 年发表。

717

为勘探地形，需要一个便于移动的暗箱。1580 年之前，里斯纳（Friedrich Risner）曾推荐过一种形状类似轻便小屋的暗箱。基歇尔（Athanasius Kircher，1601—1680）（边码 736）在《关于光与影的伟大原理》（*Ars magna lucis et umbrae*）（1646 年）一书中，用插图介绍了一种由支杆支撑的小屋，外观像一顶轿子。在此之前，开普勒（Johann Kepler，1571—1630）在 1620 年对奥地利高地进行地形考察时，曾使用过一个帐篷式暗箱。

真正的便携式盒式暗箱产生在 17 世纪中叶。1657 年，基歇尔的学生肖特（Caspar Schott，1608—1666）制成一个由两个小盒子组成的暗箱，其中一个盒子稍小一点，可以在另一个盒子里滑动以调整焦距。1676 年，斯特姆（J. C. Sturm，1635—1703）发明了第一台反射式暗箱，映像被一面与透镜光轴成 45° 的平面镜反射在一张油纸屏幕上。1685 年，萨恩（Johann Zahn）用磨砂玻璃代替油纸作屏幕，这种方法至今仍在沿用。同一年，他曾在《人工之眼》（*Oculus artificialis*）

一书中描绘过大小仅22.5厘米 ×22.5厘米 ×60厘米的小暗箱（图381），它有一个远距离透镜组合，包括焦距较长的凸透镜和焦距较短的凹透镜，能把图像放大。这种远距离透镜组合一个多世纪前由迪格斯（Leonard Digges）发明，这是首次应用到暗箱上。到了1685年，暗箱技术已经可以用于摄影，不过摄影术中相片生成的化学原理当时根本没有人关注。在摄影机问世之前，唯一得到较大发展的就是多朗德（John Dollond）最初为望远镜所设计的（1758年）的消色差透镜（第Ⅳ卷，边码358），沃拉斯顿（W. H. Wollaston）的消色差凹凸透镜棱镜则是为暗箱而发明的（1812年）。

（ⅱ）光化学 银盐的黑化性早已被发现，但被错认为是空气或阳光热量所致。第一个明确指出太阳光对银盐有化学作用的人是舒尔策（Johann Heinrich Schulze，1687—1744）。1727年，他把自己的发现向纽伦堡的帝国研究院作了叙述。舒尔策是第一个利用银盐的光效应产生图像的人。他用一张剪出文字的纸盖住装有白垩和硝酸银混合物溶液的玻璃瓶子，被纸遮住的溶液避免了光的照射，保持原有的白色，其余部分则全部变黑。虽然舒尔策并没有把他的试验付诸实际应

718

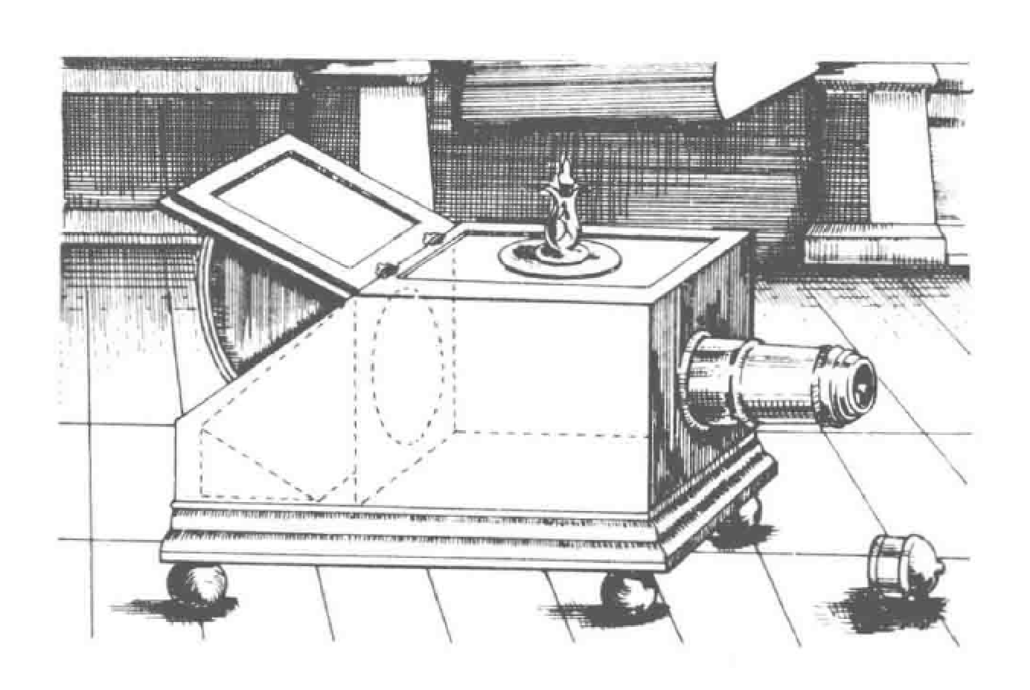


图381 萨恩于1685年改进的反射式暗箱。

用，不过这个试验却是光化学系谱树的根，并在近百年的时间里结出摄影术这个硕果。

包括舍勒（C. W. Scheele，1742—1786）、塞纳比耶（J. Senebier）、老赫歇尔（the elder Herschel）、里特（J. W. Ritter）和沃拉斯顿在内，许多科学家都曾研究过太阳光谱中不同成分使银盐黑化的相对速度问题，但他们谁都没有想过把这些知识应用到制造图片上。

与此同时，一些法国、英国和德国出版的科普读物登载了描述舒尔策试验的文章，有的把它称为一种化学魔术。此外，在18世纪，作为一种准确透视制图的辅助工具，暗箱在艺术家、旅行家和科学家中十分流行。因此，竟然经过如此漫长的时间，才有人想到把广泛流传的光学和化学知识结合起来制作照片，未免令人吃惊。

最早进行摄影术尝试的是业余科学爱好者韦奇伍德（Thomas Wedgwood，1771—1805）。大约在1800年，他试图把暗箱的影像固定在涂有硝酸银溶液的纸上或白色的皮革上。但是，他发现凭借这种简单的技术将落叶、昆虫的翅膀和玻璃画（在当时很盛行）放在感光材料上，虽经过相当时间也不可能产生效果。在太阳光下照射二三分钟，黑底白色影像就会形成，韦奇伍德却无法保存这些照片，继续暴露在阳光下，已形成的影像会全部变黑。他的朋友戴维爵士（Sir Humphry Davy，1778—1829）使用氯化银重复了这一试验，依然没有更好的办法使影像永久保持。1802年6月，他们的共同研究成果呈送给皇家科学院。

30.2 银版摄影术

首先将暗箱影像永久固定住的是涅普斯（Joseph Nicéphore Niépce，1765—1833）。1816年春，在位于索恩河畔沙隆附近的自家寓所中，涅普斯成功地从工作室窗口取景，成像在氯化银感光纸上。正如他所预料的那样，光和影是颠倒的，但这些只能部分地用硝酸固

定，试图从负像上印出正像的尝试失败了。数年时间里，涅普斯对大量感光物质进行了试验，最后决定使用早年在平版印刷术中曾使用过的犹太沥青（bitumen of Judea）。1826年，运用这种在光的作用下变硬而不变色的沥青，涅普斯拍摄了世界上第一幅照片（图版43）。在这张照片中，看得出照耀着院子两边的太阳，这归结于超长的8小时曝光时间。

将薄薄的一层溶解在白色原油中的犹太沥青涂在抛光的白镴（一种锡铅合金）版上（涅普斯在不同时期还用过钢版、锌版、玻璃版，最后用银铜合金版），在暗箱里曝光之后，隐藏着的影像逐渐清晰——这就是显影。用混合的熏衣草油和白色原油清洗底版，那些未在光照下变硬的沥青会溶解于这些溶液中，结果得到一个直接的正像。在正像上，光亮部分由沥青表现，阴暗部分则由少量金属表现。经过漂洗和烘干之后，影像就可以持久。

在马恩河畔沙隆的寓所中的一些设备，证实了涅普斯还是设计照相机的先驱。皮腔式照相机和用薄板锌制成的变光圈都是他首创的。他也是第一个使用金属照相机的人。

除摄影术之外，涅普斯还发明了光刻法，并把这两样发明统称为日光胶版法。一块普通的铜雕版用油加工透明后，放在一张沥青板上，然后在阳光下曝晒两三个小时，雕版透明部分下的沥青变硬，不见光的部分仍保持可溶性。通过溶解，版被蚀刻，正像按常规取出。涅普斯最成功的光刻法是一幅红衣主教当布瓦斯（Cardinal d'Amboise）的肖像，他在1826年为制作这幅肖像制成了两块版，1827年从每块版上各取出一幅正像（图版42A）。

720 在那一年，涅普斯设法让皇家学会对他的发明感兴趣，但未能成功。1829年12月，涅普斯开始与达盖尔（L. J. M. Daguerre，1787—1851）合作。达盖尔是一位巴黎舞台设计师和透视画的发明者，他试图完善日光胶版法，但直到1837年才用相对较短的曝光

时间制成了较为清晰持久的照片。虽然达盖尔的成功是建立在涅普斯的理论基础上，但他认为是他发明了水银蒸气显影体系，才有可能使曝光时间缩短到20—30分钟，况且最后一步工序也完全不同于日光胶版法。为申明这一点，他把自己的发明命名为“达盖尔银版法”。

在天文学家阿拉戈（D. F. Arago）的建议下，法国政府动用议会法案承认达盖尔银版法，给达盖尔和涅普斯的儿子颁发了奖金。1839年8月19日，在自然科学研究院和美术研究院的联席会议上，达盖尔银版法的操作细则被公之于众——这一天就是摄影术的正式诞生日。

一面磨光的银铜合金版置于碘蒸气中，从而在版表面形成一层极薄的感光碘化银，曝光后即放入一个盛有加热到60℃的汽化水银的箱子里显影。在大约20分钟的显影过程中，微小的水银颗粒附着在版上已经曝光的部分，形成了画面中光亮部分。用亚硫酸钠（更确切地说是硫代硫酸钠，但亚硫酸钠的称谓沿用至今）溶液冲洗版面，将没有发生反应的碘化物溶解掉，保留下来的银形成了图像的阴暗部分，这样就可以使图像持久。由于只有极薄的水银附着在版表面，版必须用玻璃保护起来。

“正式的”达盖尔银版法全套设备上刻有达盖尔的签名，由达盖尔的亲戚吉鲁（Alphonse Giroux）来专门生产。这套设备包括木制照相机、版箱、碘化物处理箱、水银箱和酒精灯，以及盛有化学物质、缓冲剂和抛光版面用粉末的各种瓶子（图382），全套设备重达50千克。照相机包括两只箱子，装有可调焦磨砂玻璃滤光镜的后箱在装有透镜的前箱中滑动。为收进全幅画面（16.4厘米 ×21.6厘米）而制作的照相机的外部尺寸为31厘米 ×37厘米 ×26.5厘米，全部展开后长达51厘米。把一面镜子固定在磨砂玻璃后面，与光轴呈45°放置，摄影师可以看到正立镜像。舍瓦利耶（Chevalier）制作的

透镜是焦距为38厘米的沃拉斯顿型消色差凸凹式透镜，镶嵌在黄铜架上，架上装有简单黄铜圆盘作为快门。尽管快门的直径为8.1厘米，但为了使影像轮廓清晰，将一个2.7厘米的光圈固定在透镜管中，有效光圈的尺寸就减小到f/14（f是焦距）。焦距的长度比版尺寸所需要的要长，再加上将小透镜伸展开，这就导致曝光时间较长。这种照相机在几十年中始终是作为一种标准的形式存在着，尽管它的透镜组经过很大的改进。

721

起初，这门新艺术只能满足于用来记录建筑、雕塑和景物。肖像摄影在当时是行不通的，因为被拍照的人须摆好姿势，在烈日下一动不动地至少待上15分钟。

各种光学和化学方面的发展，很快改变了这种状况。在菲茨（Henry Fitz）的帮助下，纽约的沃尔科特（Alexander Wolcott，1804—1844）设计出一种不用透镜的精巧的照相机。所摄入的像被一凹面镜反射到感光版上，尽管光增强了几倍，但影像被限定在2英寸见方的面积里，不太清晰。1840年3月，沃尔科特用这种首创的快速照



图382 达盖尔银版法的全套设备，1847年。

相机在纽约开办了全世界第一家人物肖像摄影室。一年以后，英国的镜像照相机专利获得者（图 383）比尔德（Richard Beard）在伦敦的皇家综合性工艺学院开设了全欧洲第一家肖像摄影室。

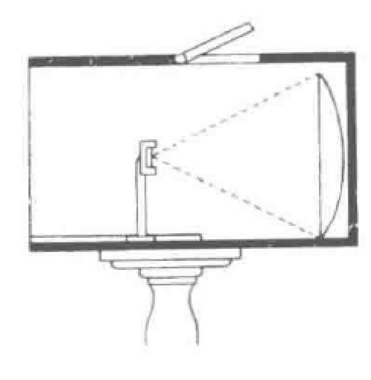



图 383　沃尔科特发明的镜像照相机，被应用于比尔德的肖像摄影室。1840—1843 年。

一个重大的突破是佩策沃尔（J. M. Petzval）的人像镜头，它在 1840 年被福格特伦德（J. F. Voigtlönder，1779—1859）开始采用。这种双组合透镜的特点是大光圈（f/3.6）和短焦距（15 厘米），不使用光圈就能拍出画面中心清晰的照片。由于可用最大的光圈，这种照相机的成像速度比用原来达盖尔 - 吉鲁式照相机的透镜快 30 倍。如此优良的特性确实使这种透镜的设计非常受欢迎，直到 1889 年鲁道夫（Paul Rudolph）的无收差透镜由卡尔·蔡司（Karl Zeiss）公司推出，情况才有所改变。

722

与佩策沃尔在光学方面取得进展的同时，伦敦的戈达德（Goddard）和克洛代（Claudet）、维也纳的克拉特霍赫维拉（Kratochwila）和纳特列尔（Natterer）研制出化学加速剂，用溴蒸气、氯蒸气和碘蒸气对达盖尔式版进行光敏处理。使用这些方法，根据光的强弱可将曝光时间缩短到 10—90 秒钟。

1841 年以后，达盖尔式照相机不再有重大的技术改进。摄影术刚开始兴盛起来的时间，在欧洲是 19 世纪 50 年代末，在美国则是 19 世纪 60 年代中期。在英格兰和威尔士，达盖尔式照相机只有持特许证的几家公司才可使用。不过达盖尔在英格兰和威尔士取得专利权的第 5 天，法国政府便将达盖尔式照相机的专利奉献给了全世界，使它在各个国家都摆脱了专利的束缚。

30.3 纸版摄影术

1835 年，塔尔博特（W. H. Fox Talbot，1800—1877）把氯化银涂覆在纸的表面，再把植物标本、花边、图版直接放在纸上，在阳光下曝光拍摄，获得较好效果。通过使用阳光显微镜，还得到了物体放大的照片。不过，他拍摄自己在拉考克·阿比的住宅的相片并不能令人满意。他用来拍摄的这种小型照相机（面积为 2.5 平方英寸）装有 2 英寸固定焦距的显微镜，曝光时间为半小时。1839 年 1 月 7 日，当听到达盖尔式照相机已获专利的消息后，塔尔博特匆忙在皇家研究院和皇家学会展示了他的氯化银相纸照相法的样品，以申明优先权。这一时期，还出现了许多彼此独立的摄影术发明者。

从细节处理得当方面来看，塔尔博特式照相机稍为逊色，但和达盖尔式照相机相比却有一个突出的优点。达盖尔式照相机每次只能拍一个正片，不能复制，塔尔博特式照相机则是纸质负片，可以印制大量的正片，这一点正是现代摄影术的基础。然而，纸质照片的缺点之一就是容易褪色，达盖尔式摄影却不存在褪色的问题，尽管银版也可能因密封不当与空气接触而被氧化。

723

1841 年 2 月，塔尔博特改善的碘化银纸照相法在英格兰和威尔士获得专利，关键点在于使用了棓酸显影系统，大大缩短了曝光时间。另一个照相法的发明者是里德（J. B. Reade，1801—1870），他早在 1837 年就用没食子浸液做加速剂，而塔尔博特通过两人都认识的一个熟人学到了这种方法。

碘化银纸照相法的准备工作，是在高质量的书写纸上连续涂刷硝酸银和碘化钾溶液，形成碘化银纸。再刷上一层棓酸和硝酸银后，碘化银纸变得更加敏感。根据光的强度和负片的尺寸，曝光时间为 1—5 分钟。进一步使用棓酸和硝酸银溶液，潜像就被显影。当相纸在火旁被加热一两分钟后，图像开始变得清晰，然后用溴化钾溶液定影。塔尔博特后来放弃了溴化钾，用“连二亚硫酸钠”取代，这一化合

物至今仍是最常用的一种定影剂。作为银盐的一种溶媒，赫歇尔（Sir John Herschel）早在1819年就描述过它的性质。

总的来说，用碘化银纸照相法拍摄景物比拍摄人物更为适合，因为纸的纤维纹理对光和阴影有很佳的效果。由于专利权的存在，碘化银纸照相法在英国没能普及，但爱丁堡的画家希尔（David Octavius Hill, 1802—1870）在1843—1847年与亚当森（Robert Adamson）合作用碘化银纸照相法拍摄的作品，在当时乃至今天始终令人赞赏不已。

在19世纪40年代的早期和中期，使用碘化银纸的摄影师只有十几位，塔尔博特为普及自己的照相法做出了不懈的努力。他在雷丁建立了第一家照相印刷公司，制造“日晒图片”（sun pictures）并在图片商店和文具店出售。他还出版了世界上第一本摄影术图解书——《自然的画笔》（*The Pencil of Nature*）（1844年），书中有一些照片原作。一直到1875年，将照片放在书的正文之前或插页上的做法，始终是在书中插图片的唯一方法。

724

碘化银纸式照相机与达盖尔式照相机稍有不同，而维拉茨（Richard Willats）的折叠式照相机（1851年）（图384）利用轻质的布料制作照相机的中央部分，为照相机的设计开辟了一个新的途径。

1847年，布朗卡尔–埃夫拉尔（Blanquart-Evrard）对碘化银纸照相机进行了改进，改进后照相机的曝光时间是一般碘化银纸照相机和达盖尔式照相机的1/4。此后在法国，除了专业的肖像摄影外，纸式照相机开始全面取代达盖尔式照相机。

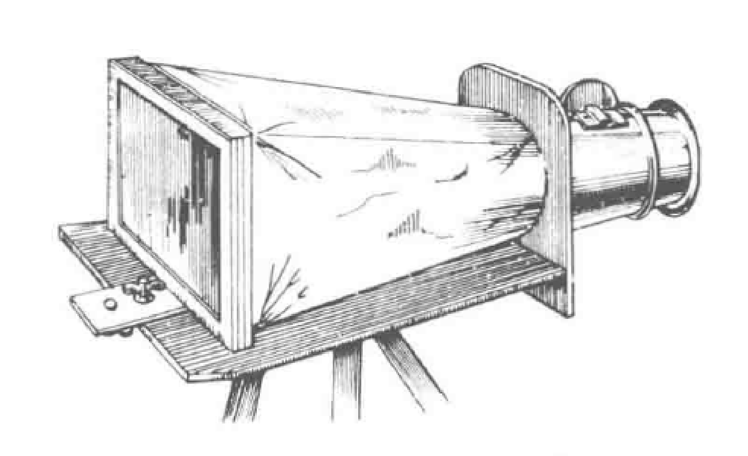


图384　维拉茨的折叠式照相机，约1851年。

1851年，布朗卡尔–埃

夫拉尔的印刷公司在法国的里尔创立。在这家公司里，大规模的生产线设备将业余摄影者的负片印制成正片，另外还印刷图书里的插图。像处理负片一样将正片显影，可以使公司每天从一张负片上生产200—300张拷贝。然而，其他地方使用碘化银照相法和蛋白纸这种慢速的印制方法，限制了生产速度，只能从每张负片上得到5—6张照片。要让图像持久，需要在定影和冲洗操作时比塔尔博特书中介绍的更为小心，之后还要进行氯化金调色。

同年，另一位法国人格雷（Gustave Le Gray）发明了蜡纸成像法，将纸摄影术推向顶峰。在碘化银纸照相法中，有时在印制以前将负片涂上蜡，以增强其透明性。但在格雷的照相法中，相纸在碘化之前涂蜡，而且所使用的许多化学方法都与众不同。对于旅行摄影师来说，蜡纸成像法是一种理想的方法。这种纸可在10—14天前准备好，而且可以在拍照几天后再冲洗，碘化银纸则必须在1天前准备好，还必须在拍摄当天冲洗。总的来说，蜡纸法和碘化银纸的曝光时间相同，但冲洗需要1—3个小时。不久，格雷的方法就取代了塔尔博特式和布朗卡尔－埃夫拉尔式相纸照相法。除了上述所提及的优点之外，上蜡涂平了纸的纤维纹理，照片就像用玻璃底片制作的一样细腻。

30.4 玻璃版摄影术

（i）蛋白印像法 玻璃比镀银铜版便宜且比纸更透明，但首次实际应用的玻璃版摄影术竟迟至1847年才被发明，这不能不让人感到惊奇。实际上，涅普斯和达盖尔早就认识到玻璃的优点，但要找到一种银盐的载体，能在显影、定影和漂洗中不被溶解或漂走，始终是一个问题。直到1847年，圣－维克多（Abel Niepce de Saint-Victor）发现蛋清（蛋白）能充当固定银盐的理想载体，这个问题才得到解决。

725

在玻璃版表面涂上一薄层含几滴碘化钾溶液的打匀蛋清，干燥后

用硝酸银的酸溶液冲洗，形成碘化银，曝光后，潜影可以用棓酸显示出来。

因为曝光时间需5—15分钟之久，蛋白印像法不适用拍摄人物肖像，但对建筑、雕塑和艺术复制却很适合。虽然蛋白印像法不久就因不便推广而被取代，但由于它成像细腻，在后来的几十年中一直用于幻灯片和立体玻璃正片的制作。前者是费城的朗根海姆兄弟（F. and W. Langenheim）在1849年发明的，称为蛋白玻璃幻灯片，后者是巴黎的费里尔（C. M. Ferrier）在1851年发明的。

（ⅱ）胶棉湿版法 胶棉湿版法是由伦敦的阿彻（Frederick Scott Archer，1813—1857）在1851年3月发明的。它在几年之内取代了当时所有的摄影术，例如达盖尔银版法、碘化银纸照相法、蜡纸成像法和蛋白印像法。当时所有的照相法中，它的操作最为迅速，是英国以法律形式规定的不因袭塔尔博特专利权的照相法，被广泛应用了近30年。

把含有碘化钾的胶棉（火棉溶解在乙醚中）倒在玻璃版上，倾斜玻璃版，直到上面的溶液形成一层均匀、黏稠的覆盖面，然后立即将版放入硝酸银溶液中浸泡以增加感光的敏感度。曝光必须趁版潮湿时进行（所以这种照相法也被称为湿版法），因为感光度会随着胶棉变干而逐渐失效。显影时可使用焦棓酸或硫酸亚铁，也必须在版变干之前进行，定影时可用海波液或氰化钾。

通过玻璃干版照相法或玻璃正像法制作胶棉，是阿彻与弗赖伊（Peter W. Fry）合作共同对胶棉湿版法进行的改进。用硝酸或氯化汞把显影不足或曝光不足的胶棉负片稍加漂白，变黑的碘化银转变成白净的金属银，将负片的图像放到全黑的背影上，就能将其转化得接近正片（图版42B）。这种方法既快又容易，不久就取代了达盖尔式照相法。从1852年至大约1865年，玻璃干版照相法以成本低而深受欢迎，$2\frac{1}{2}$英寸 ×$2\frac{1}{4}$英寸流行式样的照片达到了顶峰。玻璃干版照相法的

变种锡版照相法，或在金属版上制作胶棉正片的方法，沿海和集市场所的摄影师如今还在偶尔使用。

胶棉湿版法的普及并不意味着摄影技术变得容易了，相反它的操作需要更高的技巧。但是，这种方法可获得极精细的图像，改善了中间调，增强了感光性能。此外，利用快速感光材料可以使肖像摄影师的工作变得方便一些，但对风景摄影师来说，因为图版必须当场准备和处理，沉重的附加设备所增加的负担，几乎超过了缩短曝光时间产生的优越性。

除了照相机、几个透镜和起稳定作用的三脚架外，风景摄影师必须携带各种瓶装溶液用于底片涂层、感光、显影和定影，还得携带许多盘子和足供使用的玻璃版，以及玻璃量具、漏斗和其他一些物品，包括盛装漂洗水的桶——有时还得带上水。最重要的是，摄影师需要一个便于携带的帐篷式暗室，在令人窒息的空间里进行化学操作（图385）。每天外出需携带的全部设备的重量为100—120磅，有些摄影师用手推车或照相旅行车盛放物品，较富有的摄影师备有一辆四轮马车。通常，马车的用途仅仅是把摄影师和他的设备运送到目的地，但有时马车可以改装成一个流动暗室。

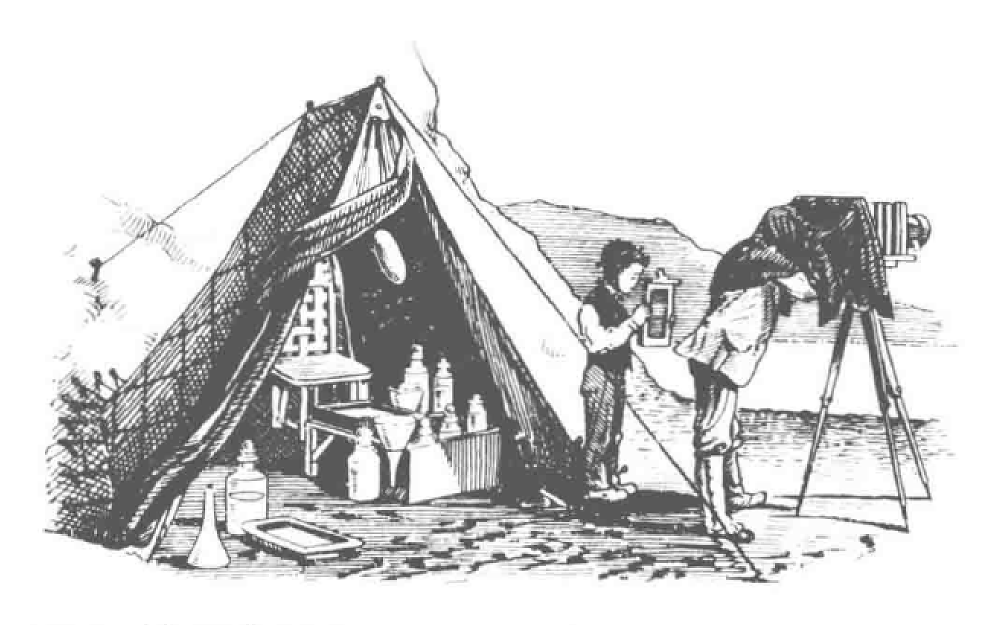


图385 旅行摄影师的帐篷式暗室，约1865年。

由于1850年发明的蛋白相纸对光不够敏感，很少进行相片放大，结果底片就很大，8英寸×10英寸、10英寸×12英寸和12英寸×16英寸是普通的尺寸，照相机的体积和重量也相应增大。人们试图减少旅行摄影师的设备，发明了组合式暗箱照相机。在这种照相机中，化学操作在照相机盒子中或盒子下面的一个大罐子里进行，但这些都是临时替代品，一个认真的摄影师没有暗室是不行的。

在1851年万国博览会上，布儒斯特爵士（Sir David Brewster）的柱镜立体透镜和具有三维效果的立体达盖尔透镜引起了人们极大的关注。不到6个月，立体透镜就风靡一时。第一幅立体照片是用两台照相机并排拍摄的，即两台照相机都沿着导轨侧向移动，以便能从稍稍不同的视角拍摄同一景物。必须要连续曝光这一特点，无疑只适用于拍摄无生命的物体。1853年，基于布儒斯特式设计的双筒镜或双镜头照相机由丹瑟（J. B. Dancer）研制成功，同时拍摄两张照片成为可能。短焦距镜头（4.5—5英寸）和小型底片（每张照片的尺寸是3英寸×3 $\frac{1}{3}$英寸）使得用全光圈拍摄时可拍出一幅清晰的照片，这样就可将曝光时间缩短到几分之一秒钟，活体与运动第一次进入了照相机的镜头。有着过往行人和车辆的街景，可从高出地面的窗口把照相机对准车辆来拍，由于距离远，车辆的运动速度明显减缓。

除了立体透镜照相机之外，还有其他一些小型照相机，例如斯卡尔夫（Skaife）的手枪式照相机（1856年）、伯奇（Bertsch）的“自动式暗箱”（1860年）和多卜罗尼（Dubroni）的手提式照相机（1864年）。这些现代小型照相机的前身，当时只是出于某种特殊需要而刻意制成的，绝大多数摄影师都使用大底版的木箱式照相机。轻便的折叠式照相机后来才逐渐出现，可能因为相对运用大底版所需要的较长曝光时间，它的设计还不够精确。

由迪斯德里（Disderi）申报专利的2.25英寸×2.5英寸的照片样

式，从1859年至19世纪末期一直颇为流行。它通常用一种由焦距为4.5英寸的4个相同透镜组成的特殊照相机拍摄，用重复的方法，两次曝光后，可在1张8.5英寸 ×10.5英寸的版上拍出8幅照片，连接在一起的底片拷贝被切成单独的照片固定的卡片上。

胶棉湿版操作不方便，需要帐篷式暗室，诸多问题很自然地导致了对干版的需求。许多种物质被用来做试验，试图能保护胶棉涂层，使之在几天内甚至几星期内仍处于感光状态。但是，所有这些保护技术都很复杂，而且其感光比使用湿胶棉要慢得多。

728

诺里斯(Richard Hill Norris)发现了保护层的一个重要功能，就是能够填补胶棉在潮湿膨胀时的微孔。他发明了一种方法，用液体胶或其他一些黏液状物质泼到感光的胶棉版上，这些物质在水中能变软，因此显影液可以浸透到胶棉中去，当版干燥后就可以放回箱子里准备出售——这在摄影方面是一个革命性设想。自1856年起第一次进行商业性推广，直到1866年，诺里斯版在广大业余爱好者中一直享有极高的声誉。

1864年，博尔顿(W. B. Bolton)和利物浦的塞斯(B. J. Sayce)在干版上应用胶棉与溴化银感光乳剂，取得了重大突破。溴化银的感光速度远快于碘化银，它和保护剂鞣酸一起溶入感光乳剂中，摄影师所需做的就是把已经制成的感光乳剂泼到玻璃版上。从1867年初开始，甚至连这一步也不需要了，因为胶棉剂干版已在利物浦的干版与摄影公司开始商业性生产。

(ⅲ)明胶感光剂 一般认为明胶感光剂的发明者是马多克斯(Richard Leach Maddox，1816—1902)，他在1871年9月发表了自己的试验成果。他制作了含有硝酸、溴化镉和硝酸银的乳状明胶，用含有少量硝酸银的连苯三酚溶液显影。马多克斯的明胶感光剂比湿胶棉显影慢，但其他一些试验——主要是伯吉斯(John Burgess)和肯尼特(Richard Kennett)的试验——对此作了很大的改进，以至于摄影师们

常常把利物浦干版公司在1876年投放市场的明胶干版过度曝光。这种明胶干版具有极强的感光性，比胶棉湿版快20倍，这是由于贝内特(Charles Bennett)在1878年3月发明的加热法把乳剂“催熟”或“煮熟”了。

1878年初，英国的4家公司大规模地生产明胶干版。到1879年秋，生产明胶干版的公司数量猛增到14个，英国制造的干版远销世界各地。约一年后，一种可将明胶感光剂涂在玻璃版上的自动化机器被研制出来，每小时可生产干版1200块，最大尺寸可达20英寸×24英寸。

到1880年，胶棉湿版全面向明胶干版转换。使用明胶干版后，真正意义上的瞬时摄影可以说已经开始。由于版是现成的，摄影已变得非常简单，至少按照制版商的说法，已经简单到“一个智力普通的人，经过3节课的学习，就能掌握它”。这就是业余摄影潮流的开端，它在19世纪90年代发展到一个前所未有的地步。

在这以前，摄影材料对蓝光和紫光都过于敏感，对红光却一点也不敏感，这就导致色调再现不准确，不得不使用滤光镜来调整。在19世纪80年代和90年代，一些科学家对正色性进行研究，处于领先地位的沃格尔(H. W. Vogel，1834—1898)在1873年12月发现，用某些染料处理摄影感光剂，可使感光剂对吸收的颜色更加敏感。1883年，第一块正色版出现了，它被认为能使每种颜色都很好地复现。不过，即使是第一块真正的全色版(1904年)，在这方面也根本谈不上完美。

30.5 胶片摄影

玻璃既重又易碎，人们一直在探寻使用柔韧的胶片来作为底版。在赛璐珞胶片应用之前，各种剥膜胶片和其他胶片都曾被试验过，总的来说并不令人满意。1861年，由帕克斯(Alexander Parkes)发明

的赛璐珞（由硝化纤维素与樟脑塑成）最早被称为“帕克斯”。1873年，居住在新泽西州纽瓦克的海厄特（John Wesley Hyatt）以“赛璐珞”之名进行了商标注册，并大量生产赛璐珞胶片（边码747）。1888年，海厄特应费城制版商卡尔巴特（John Carbutt）的要求，生产出厚度为1/100英寸的均匀清晰的赛璐珞胶片，完全满足新底版材料的要求。同年，卡巴特将这种赛璐珞胶片涂上乳剂投放市场，但因其过厚且柔韧性不足，不能用作胶卷。

稍早一些时候，在1887年5月，同是纽瓦克人的古德温（Hannibal Goodwin，1822—1900）申请了用赛璐珞制作透明胶卷的专利。由于规范标准不完备，这项专利直到1898年9月才被批准。与此同时，赖兴巴赫（H. M. Reichenbach）研制的一种类似胶片，由伊斯曼公司（Eastman Company）生产并投放市场。1889年12月，这家公司获得专利，并在此后15年几乎包揽了全世界的胶卷生产，占总产量的80%—90%。

进行明胶干版生产的同时，人们开始了广泛的对明胶相纸的研制，其中最重要的是快速明胶溴化银相纸。这种相纸感光性能良好，足以在人工光源下将小底片放大。这使得摄影设施发生了重大改革，因为在手提式照相机中使用小底片和进行照片放大有了可能。

730

1880年以后的摄影设备，特点是结构紧凑，操作简便和重量轻，摄影师的装备减少到和现今的差不多。当时主要有四种照相机，分别是换片箱式、暗盒式、胶卷式和反光式，都能用大量的版式胶片进行连续快速拍摄。3.25英寸 ×4.25英寸的底片在英国和美国受到了业余爱好者的欢迎，9厘米 ×12厘米的底片在欧洲大陆也深受欢迎。

换片箱附加在照相机上，可以在白天换底版。换片箱上通常装有一个自动计数器，可以显示已经拍过的底片数。一个单独的护套装有一打底版，曝光之后底版被提起，放到箱子上方一个柔软的皮袋里，然后这一底版被放到其他底版之后，这就意味着下一个底版被推到了

镜头下。换片箱被制成各种尺寸，以便与各种标准的照相机的后部匹配。

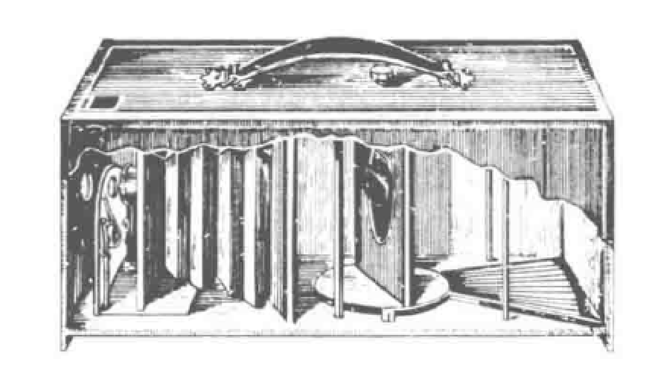


图 386 玛丽昂公司（Marion & Company）生产的“雷代尔”（Radial）暗盒式相机，1890 年。

暗盒式照相机中，有 12—40 个底版或胶片散页存放在暗盒里。底版曝光之后，由一个机械装置调换。这种装置在各种式样的照相机中各不相同，最普通的是一个弹簧附加装置（图 386）。

滚轴拉盖式和胶卷式照相机采用装在两个轴上的灵活的胶片带卷，卷起已曝光的胶片的同时，新胶片被卷出，以备进行下一次曝光。最初，胶片放在一个单独的盒子里——滚轴拉盖式拉盖盒，并被制成不同的尺寸以匹配各种标准照相机的后部。1854 年，斯潘塞（Spencer）和梅尔休伊什（Melhuish）发明了滚轴拉盖盒，使用的是碘化银纸。1885 年，卷轴拉盖盒被伊斯曼（George Eastman，1854—1932）和沃克（W. H. Walker）作为批量生产的产品推出并开始盛行，盒内装有一卷足够 24 次曝光的快速感光底片。1888 年，这一装置装有 48 个剥膜胶片。第二年，装有赖兴巴赫赛璐珞胶片的胶卷曝光次数达 24 或 48 次。

对业余摄影者最富于刺激性的发明是柯达（Kodak）照相机（图 387），1888 年 8 月由伊斯曼发明。它能把以前曝光所必需的十步或十几步操作步骤减少到三步，成比例地减少了照相器材的重量和体积，并能连续拍摄 100 个镜头而不必更换胶片。这是一种大批量生产的简单手提式照相机，尺寸只有 6.5 英寸 ×3.5 英寸 ×3.5 英寸，重量只有 2 磅零 3 盎司。这也是第一个带有内置式胶卷装置的照相机，装有一个固定焦距的无畸变透镜，对 8 英尺之外的所有景物有着很高的清晰度，还有一个速度键和一个固定停止键，这一切显得操作非常简单。随着伊斯曼公司的冲洗服务得到进一步增进，柯

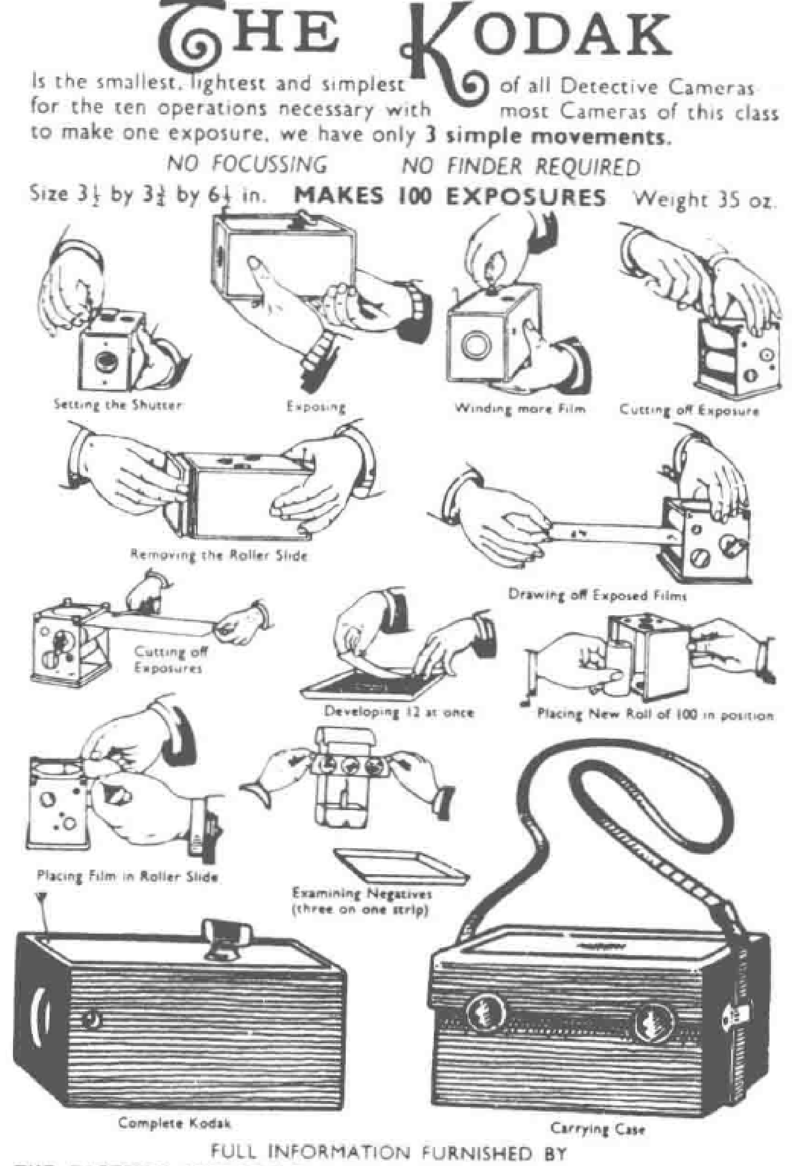


图 387　第一台柯达照相机的广告，1888 年。

达相机对摄影爱好者的巨大吸引力。相机可送到公司去显影和冲印，送还回来的则是装上新胶卷的照相机，连同经过定影的所有拍摄成功的照片。伊斯曼公司的著名口号是“你只需按一下按钮——剩下的我们来做”，他们做到了这点。

单、双透镜反光照相机有自己的系列，虽然也有各种换片箱式、暗盒式、胶卷式的附件，但在结构方面基本上别具一格。反光照相机在与照相机底部成 45° 的地方装有一平面镜，把图像反射到玻璃屏上，

无须聚焦盖布帮助，即可在拍摄前观察要拍的景物。这种老式暗箱方法最初在 1861 年被萨顿（Thomas Sutton）应用到摄影照相机，但直到 19 世纪 80 年代才确立下来。

侦察式照相机是对一种伪装的暗盒式手提照相机的贴切描述，1881 年 1 月由博拉斯（Thomas Bolas）为伦敦警察厅设计。19 世纪 90 年代，侦察式照相机在摄影爱好者中风行一时，他们像今天的许多人一样，喜爱那些没有多大用场的消遣物。从看剧用的望远镜、双筒望远镜、左轮手枪、手枪、书籍、表或钱包、手杖、帽子（图 388）、围巾到背心，都可以藏放这种人们偏爱的小型照相机。1914 年，一台作为一种精密科学装置的小型相机首次被巴纳克（Oskar Barnack）设计出来。小型照相机的焦距通常是固定的，透镜质量往往较差。

从那时起，大多数摄影师开始使用手提式照相机和快速感光的底版材料，透镜的质量和高速快门便显得很重要。如果为了去拍一幅清晰的照片而不得不使用小光圈，手提式照相机可能会毫无用途。根据各种缺陷被克服的程度，透镜被分成消球差镜、消像散透镜和双消像散透镜，这些名词是施泰因海尔（Steinheil，1866 年）、蔡司（Zeiss，1889 年）和格茨（Goerz，1893 年）等人各自创造的。

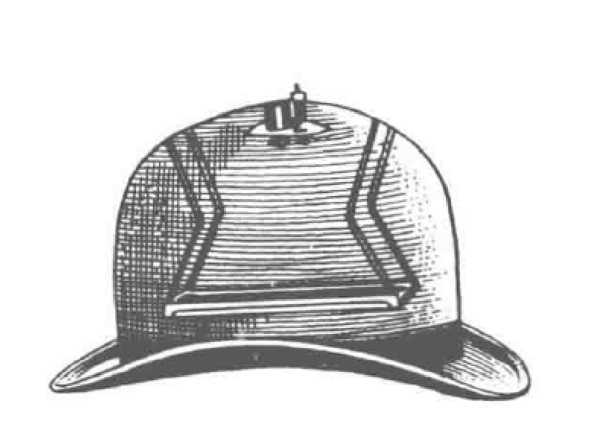






图 388　亚当斯的帽式侦察相机，1891 年。

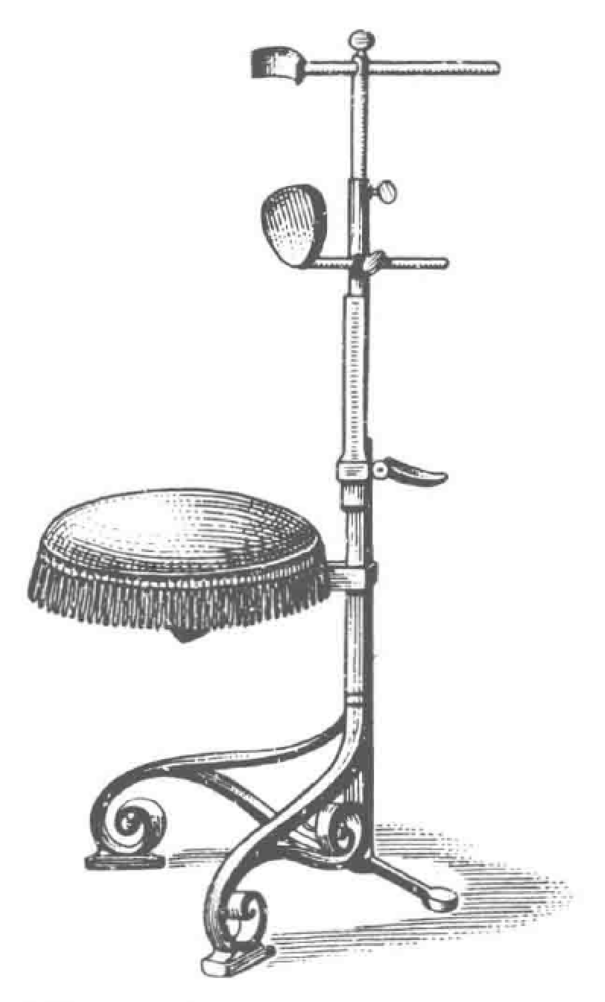
在多种适用于几分之一秒曝光的快门中，滚轴封闭式和幕帘式快门是1900年以前最主要的发明。后者在1861年由英国的威廉（William）发明，用于拍摄瞬间的街景，至今仍出现在许多现代高速照相机中。

参考书目

Eder, J. M. 'The History of Photography' (trans. by E. Epstean). Columbia University Press, New York. 1945.

Gernsheim, Helmut and Gernsheim, Alison. 'The History of Photography, from the Earliest Use of the *camera obscura* in the Eleventh Century to 1914.' Oxford University Press, London. 1955.

Lecuyer, R. 'Histoire de la photographie.' Baschet, Paris. 1945.



照相椅，1882 年。

第2篇　电影摄影

安东尼 · R. 米凯利斯
(ANTHONY R. MICHAELIS)

30.6　导言

电影是机器时代产生的为数不多的艺术形式之一，现已成为一种世界性的娱乐方式和较重要的产业。作为一种教具，它把外部的世界搬进了教室；作为一种研究手段，它可应用于所有的实验性学科，丰富了我们的知识，增强了我们把握自然的能力。电影摄影发展到现在这样完美的水平，应用如此广泛和有价值，这不能归功于某一个人或某一个国家，电影摄影是人们经过 3/4 个世纪长期的辛勤劳动和探索发展起来的。这里我们只谈它前 25 年的发展。1874 年，人们第一次把一个活动的物体间歇地摄制在单片干版上。1895 年，第一部电影公开放映（图版 44B）。到 1900 年，欧洲和美洲的大城市都建起很好的电影院。那时的电影虽不如今天这样吸引人，但已经成为一种有教益的和被人津津乐道的娱乐方式。

“电影摄影”这个词最初是布利（G. Bouly）1892 年在一种照相机的法国专利说明中使用的。从那以后，这个词就几乎在所有语种中以这样或那样的形式出现。现在这个词的含义扩大了，它包括与电影的录制和复制有关的所有应用科学。

电影摄影可作如下定义：它是录制在同一连续的感光带上的一系列独立的图像，以一个标准的时间间隔曝光，便可以展现一个动作的

连续阶段。当这些镜头以超过人视觉停闪频率的速度显现时，分立的图像在人脑中停留的时间便足以使观众觉得看到的动作是连续的。

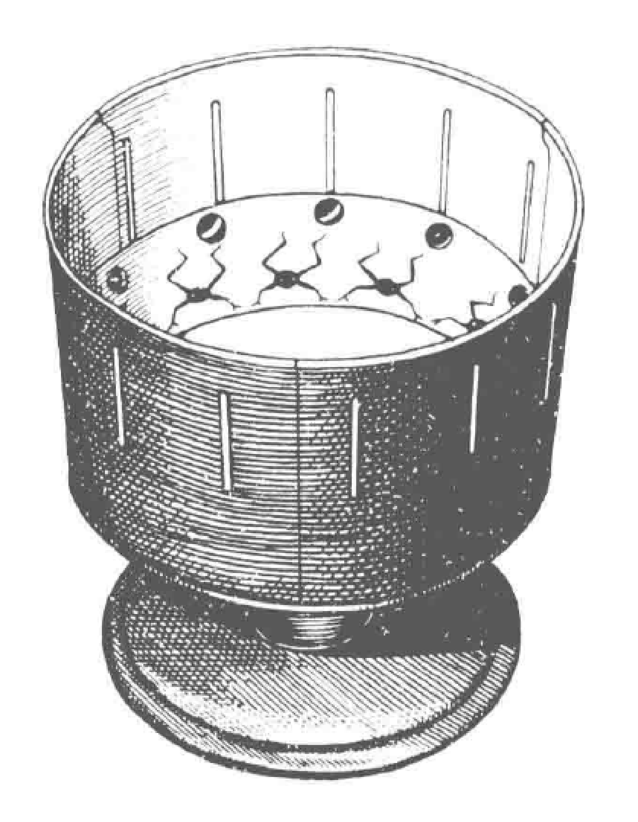
这个定义体现了电影摄影在机械、化学和生理上的原理。首先，以标准时间间隔录制独立的图像，需要记录图像的胶片做间歇的机械运动。其次，胶片必须具有感光性，尽管现今的研究试图用磁带代替感光乳剂，但从电影摄影的诞生到现在，感光乳剂及其化学变化一直被认为是最适合于电影摄影的。最后，为了再现持续的动作，独立的图像必须以一定的频率投影，使得人眼视觉的滞留性发生作用，这样，独立的各部分就形成一个整体。

735

在这部分关于电影摄影的技术史中，我们主要谈的是它的第一个即机械上的原理，也就是胶片上的间歇运动是怎样在电影摄影机和放映机上实现的。它的第二个即化学上的原理是卤化银的光化学反应，它使得电影摄影成为可能，我们已经在这一章的第一部分介绍了它的发明和历史。第三个原理是人眼视觉滞留的生理现象，它是三条当中最先为人了解的原理，作些简单介绍后便不难顺理成章地直奔主题。

30.7 先行者

一幅图像在人眼视网膜上能停留1/20—1/10秒，这段时间的长短取决于物体的颜色、形状和与眼的距离。史前的人可能已经意识到视觉存留的现象，当一根末端发光或燃烧的木棍以圆圈状快速旋转时，就可见到一个光亮的连续轨迹。托勒密（Ptolemy）在公元130年写的第二本关于光学的书里指出，当一个圆盘的一部分涂上颜色并快速旋转时，人们就会觉得整个圆盘都是那种颜色。还有一些人也提到了视觉存留的问题，例如11世纪的海桑、15世纪的达·芬奇（Leonardo da Vinci）以及后来的牛顿（Newton）和玻意耳（Boyle），他们都是从理论上来探讨的。最早将这种现象应用于一种启智玩具的人是英国医生帕里斯（J. A. Paris），他在1826年曾这样描述他的“留影盘”或“奇


图 389　装有图像带的旋转画筒。

景箱”——一个小卡纸圆盘，每面有不同的图像，两条线拴在两边，将圆盘悬起，用每只手的大拇指和食指捏住线，快速旋转，使卡片转动，这样就有两张画面同时出现。“魔盒”试验距一系列在人视野中快速进出的图像所产生的动感幻觉仅一步之遥。

这种动感幻觉是电影摄影领域中一个最基本的发现。1832 年，比利时盲人物理学家普拉托（J. A. F. Plateau）和奥地利地质学家施坦普费尔（S. von Stampfer）都成功演示了他们利用视力错觉的方法。一些圆周上有不等数量小孔的圆盘在一面镜子面前旋转，圆盘中央是一组图画，它们渐次与其邻图不同。从小孔往里看，这些图画就成为一个运动的整体。这些旋转的轮被人们称作“魔盘”、幻视器和频闪观测器等。两年以后，英国人霍纳（W. G. Horner）改进了这种设计，把画有图画的带子放入有孔的水平轮中，使更多的人而非一个人享受到这种消遣。这个设备就是所谓的“活动画片”或“旋转画筒”（图 389、图 390）。1839 年，英国的塔尔博特和法国的达盖尔公开了实用的摄影程序。然而，把摄影和这些早期的活动画片结合起来，却又花费了整整 35 年。

现在让我们暂时回到 17 世纪中叶时的 1645 年，当时法国的路易十四（Louis XIV）开始他的专制统治已有两年，距离英国的查理一世（Charles I）被送上绞架则过了 4 年。当时在罗马有一位德国的耶稣信徒基歇尔（Athanasius Kircher，1601—1680），是罗马大学的数学教授。这位成就卓越的学者是第一个把图画投影到屏幕上的人，

他的设备尽管简陋，却包括了所有的基本设施——一个前有透镜后有反射镜的光源、一块画有图画的玻璃幻灯片和一个屏幕。他的观众很吃惊，甚至有些不安，纷纷讨论着这个神秘的魔术。他毫不畏惧地公开发表了他的令人终生难忘的实验。在以后的两个世纪里，改进了的幻灯也开始用于娱乐甚至教学。在那些发展基歇尔思想的人物中，值得一提的是米森布鲁克（P. van Musschenbroek，1692—1761）。1736年，他用一个静止的幻灯片作为背景，用一个活动的幻灯片作为前景，把运动的图像搬上屏幕，创造出了当时被人认为是奇迹的事情。在19世纪末，这种带图画的玻璃幻灯片仍是一种人见人爱的消遣。

到1850年，时机成熟了，基歇尔的幻灯片同普拉托和施坦普费尔的转盘结合起来，得到了活动画片的投影。1853年，奥地利炮团军官乌哈蒂乌斯（Baron F. von Uchatius，1811—1881）首先公开了他的成功方法。这位军官受命制定一套用于军事教学的设备，可让许多观众观看到活动画面。他最初解决这个问题的方法是通过一个旋转的玻璃幻灯片、一个旋转的遮光板和一个固定的透镜，把图像投影到屏幕上。后经改进，他的设备包括一个旋转的光源、固定的幻灯片和一组微微倾斜的透镜组，透镜的光轴正好落在屏幕的中央。一张幻灯片上的连续图画的数目有限，一次投影的时间最长也不超过30秒钟。在1895年以前，任何投影机都没有超过这个投影时间。

737

在未正式述及电影摄影以前，也应谈一谈许多其他的偶发的改进。

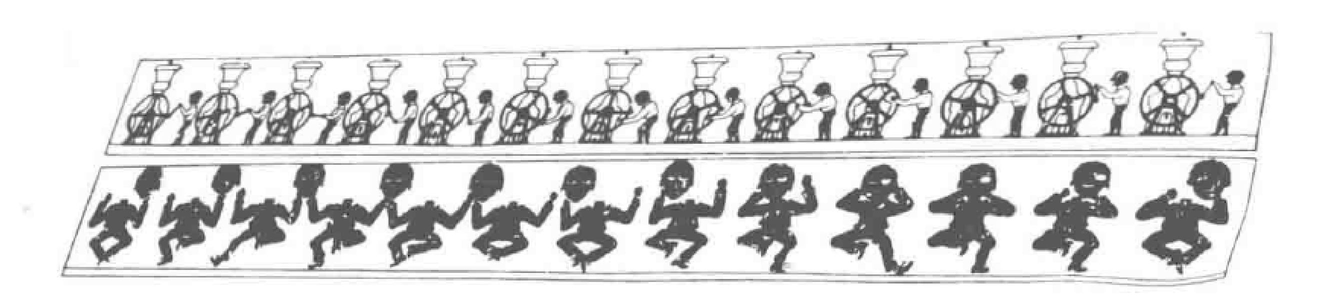


图390 旋转画筒上两条典型的图像带（图389）。

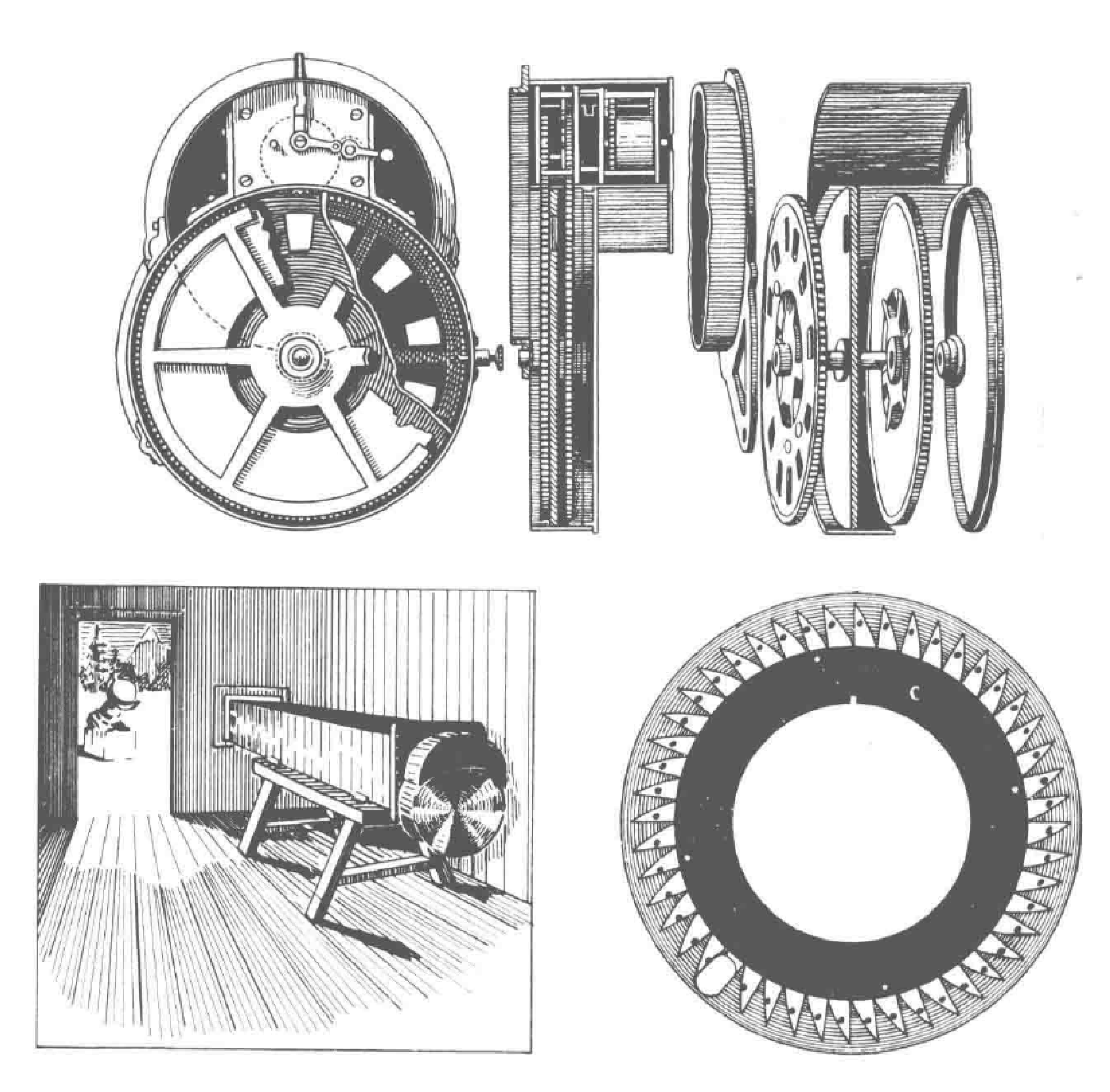


图 391 詹森的旋转式天体记录器，用于观看 1874 年金星经过的不同阶段。

1850 年，住在费城的德国人朗根海姆兄弟（F. and W. Langenheim）完善了在玻璃幻灯片上制作摄影正片的过程，这十分适合于幻灯投影。法国的杜蒙（T. H. Dumont）和德维涅（P. H. Desvignes）在 1860 年、英国的肖（W. T. Shaw）在 1861 年、美国的塞勒斯（C. Sellers）在 1861 年，各自发表了论文，改进了观看和放映活动画片的方法并获得专利。到 1865 年，莱恩（J. Laing）在英国公开了他的“电动透视镜”，法国著名天文学家傅科（L. Foucauld）描述了他的立体幻影透视镜或电影放映机。英国的库克（H. Cook）和博内利（G. Bonelli）则获得一项专利，利用显微镜

观看一组圆盘边缘的小图片，圆盘的旋转同显微镜目镜孔眼的出现同步。1868 年是电影史上重要的一年，因为海厄特在寻找象牙的替代材料来做撞球时发明了赛璐珞。凭借对电磁波理论作出巨大贡献而闻名的麦克斯韦（J. Clerk Maxwell），在 1869 年对当时深受人们喜爱的活动画片做了改进——用凹透镜代替小孔。第二年，法国科学家布尔布泽（J. P. Bourbouze）第一次借助活动的画片，向他的学生讲解活塞、水泵和压缩机的工作过程。

詹森（P. J. C. Janssen，1824—1907）、迈布里奇（E. Muybridge，1830—1904）和马雷（E. J. Marey，1830—1904）是我们接下来要介绍的三位电影摄影术的先驱者。倘若能意识到自己在电影摄影技术发展上的重要作用，他们也会以牛顿的那句话作为回应："如果说我们比别人看得远些，那是因为我们站在巨人的肩膀上。"

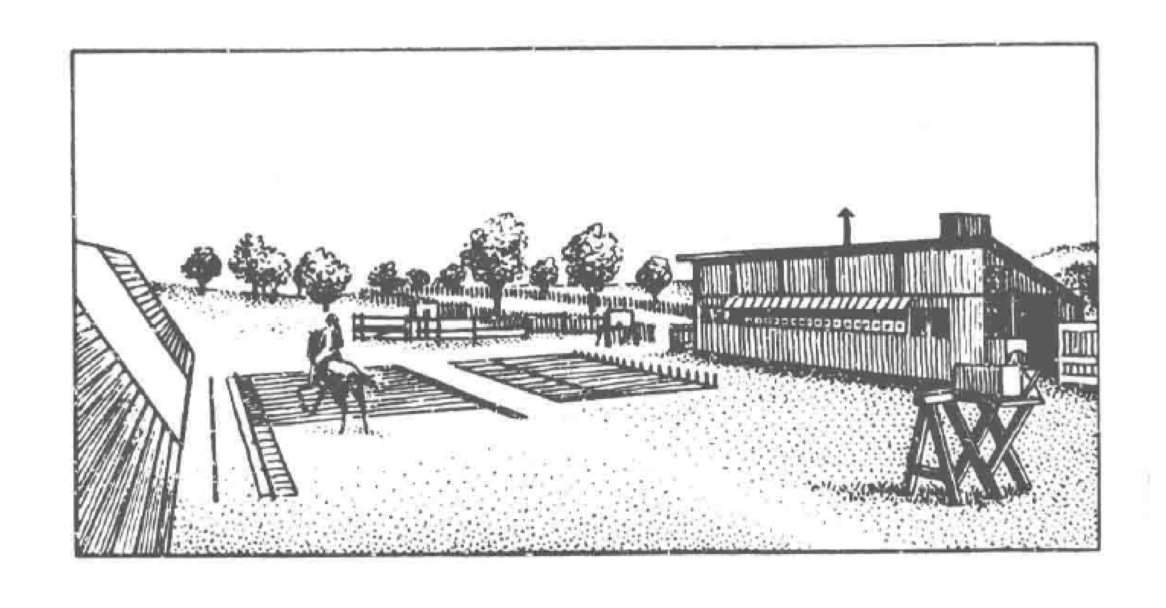
738

30.8 先驱者：詹森、迈布里奇、马雷

到 1870 年，人们已能观看制作在玻璃幻灯片上的活动图画，也能把照片投影在屏幕上。然而，当时没有一个人想过拍一系列的照片，将一个连续的动作分解成若干部分。对于合成及后来的真实动作再现，这一步是必不可少的基础。

人们曾预言，1874 年 12 月 8 日将出现极其罕见的天文现象——金星经过太阳的子午线。为了把这一天文现象永久地记录下来，位于巴黎附近的默东天文台的台长詹森设计了一台仪器，首次拍摄了单一动作的连续阶段。他模仿普拉托的魔盘，只是颠倒了一下程序，把一个涂有感光乳剂的圆盘，放在另一个径向有狭缝的圆盘后面。这两个圆盘由钟表机械带动做断续运动，整个装置同天文望远镜的目镜相连，并用定日镜对准太阳来聚焦。这样就制作出了第一部"电影"。通过记录在相同的摄影乳剂上的 48 张连续照片，这部"电影"直到今天仍能清晰地显示出金星通过太阳子午线时的缓慢移动（图 391）。

739



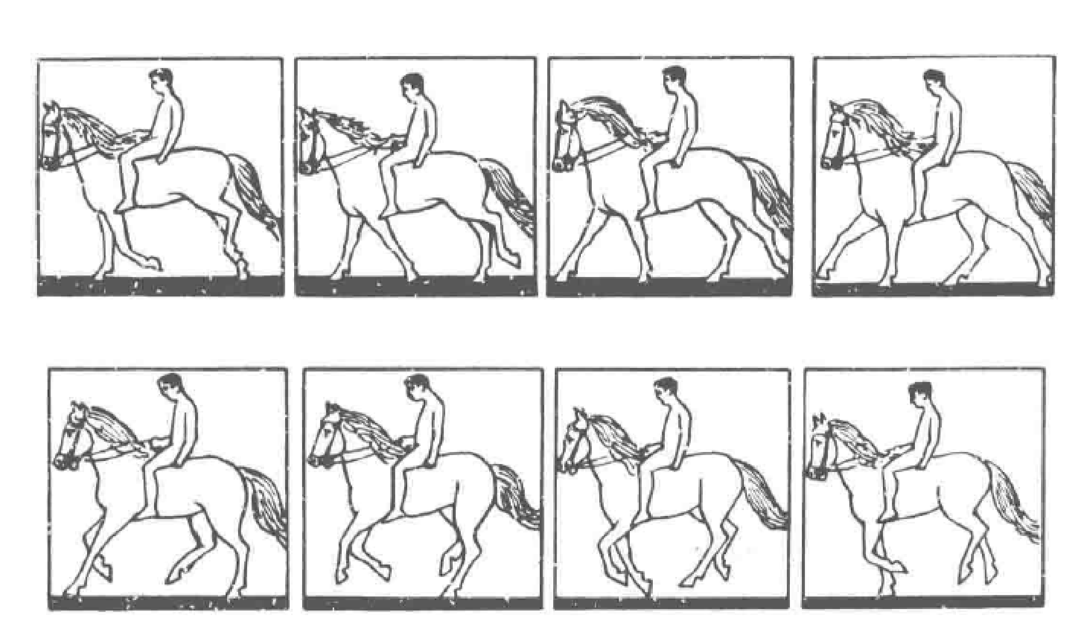


图 392 迈布里奇的摄影装置（上）和他的效果样片。

在加利福尼亚，另一位出生在泰晤士河岸金斯顿的先驱者迈布里奇也在勤奋地工作。1872 年，他应别人的要求，用摄影的方法赢了一场赌局，成功记录下一匹奔马在驰骋中的每一个动作，证实了有那么一瞬间奔马的四蹄都离开了地面。但这并不是什么新发现，因为早在 1870 年，马雷在巴黎利用波动曲线记录器记录法（边码 741）已证实这一点，只是没有照片作证。多年来，迈布里奇和马雷互相通信联系，彼此深受启发。起初，迈布里奇拍摄了许多照片来帮助马雷进行鸟的飞行研究。后来，马雷看过照片后，确信摄影比他的记波器优越。

740

就转向了对摄影的研究。1888年，他在巴黎的实验室里制造了第一台现代电影摄影机。在描述马雷的设备之前，我们先来看一看迈布里奇的设备。

迈布里奇让他的被摄物在面对白墙的12—30架照相机前移动，照相机与照相机之间的间隔为1英尺。在墙和照相机之间，有许多细线，每条细线用于触发同照相机相连的电磁快门（图392）。这项工作开始于1878年，以后多有改进，直至其创始人谢世。迈布里奇的作品汇编成一部长达11卷共2万张人和动物的照片集，其中记录了男人、女人、儿童和各类动物的行为。迈布里奇欢迎别人对他的技术进行批评，他早期的摄影作品在空间上是等间距的，但在时间上并不是。后来，他利用旋转转换器来控制相机快门，这样便能同时开启组合的三组照相机，使它们同步工作，克服了在时间上间距不等的缺点。

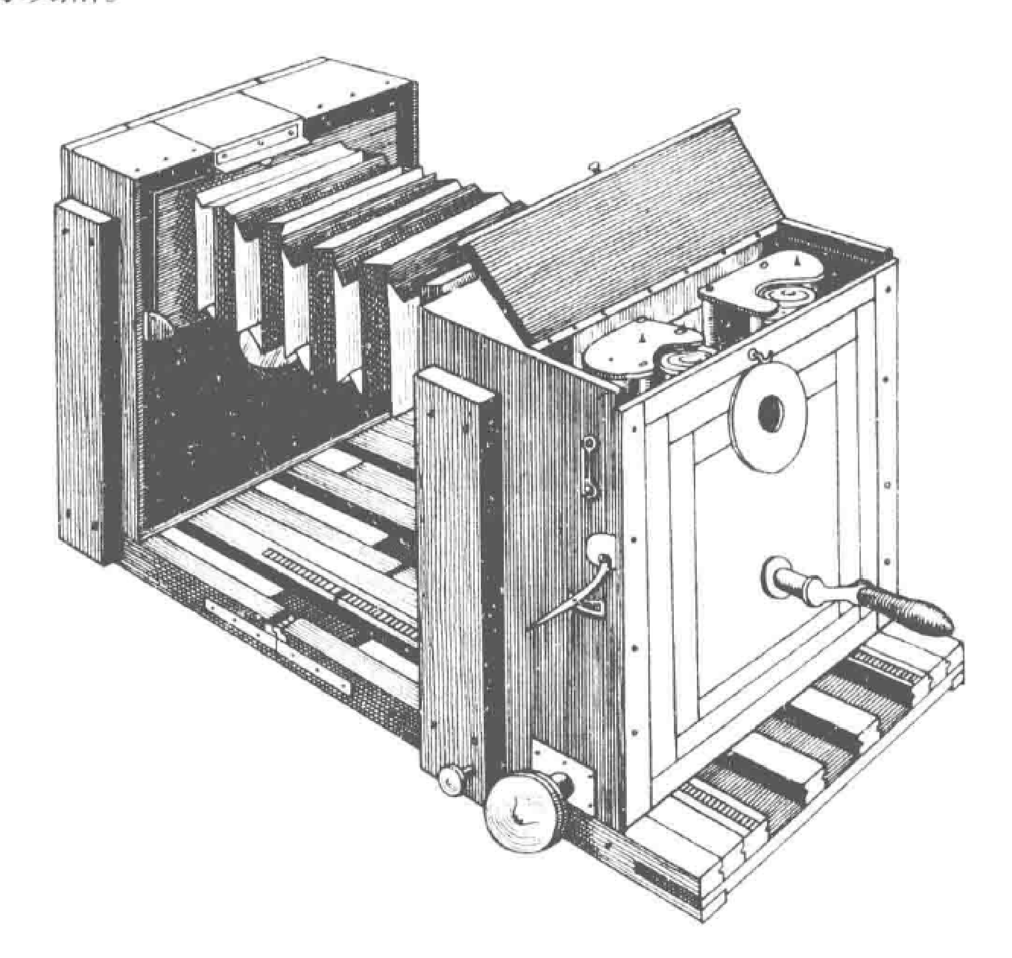


图393　马雷的盒式定时摄影机。

741 马雷在1882年开始研究摄影，他追随詹森的思想，用一个单独的照相机镜头来记录所有的动作。他最早发明的明火枪摄影机（*fusil photographique*）完全受詹森的旋转圆盘式快门装置的启发，两者非常相似。它用一个圆玻璃盘在1秒钟内拍摄12个连续图像，一次曝光与另一次曝光之间需1/720秒的间歇。利用这套设备，他对鸟的飞行进行了大量有趣的研究（图版44A）。但是，这一设备也有很大的局限性——玻璃盘非常大，1秒钟内要加速和暂停12次，而所得到的单独的图片又比较小，这些都严重限制了连续动作的分解。

于是，马雷萌生了一个奇妙的设想。多年来，他一直把记波器作为基本仪器来摄录动物的各种动作。记波器的滚鼓上包裹着被烟熏过的纸，滚鼓转动时，探针就在上面画出一条白线，将观察的动作妥恰地与探针连接起来，相应动作的轨迹就能记录在纸上。马雷的设想是用光线来代替探针，用一段在1887年已被普遍使用的照相纸来代替烟纸。起初，他试过用摄影乳剂来拍摄连续的动作，但他马上意识到如果显影时想得到清晰的图像，就不得不用明火枪摄影机拍摄间隔的动作，这实际上就是电影摄影的诞生。1888年10月29日，马雷把这一成果呈报给科学研究院。当时，除担任会议主席的詹森以外，几乎没有人意识到这些小摄影纸片奠定了一门新艺术和一种新产业的基础。

马雷的摄影机即盒式定时摄影机（*chambre chronophotographique*）并不完善，尽管它体现出现代电影摄影机的所有原理（参见图393、图394）。伊斯曼或巴拉尼（Balagn）设计的长约为4米的感光纸带，742 从供片盘到收片盘间断地移过摄影机镜头。带1平方厘米小窗的快门在透镜和感光乳剂间旋转，当纸移动时隔断光源，图像以每秒10—12次的频率被摄录下来。胶片的间断运动相当复杂，这是这种摄影机的弊病所在。同样起转动快门作用的一个手摇曲柄，使收片盘不断运动，但是需要通过一个摩擦离合器。当揿下摄影机的启动开关时，收片盘上的制动器被移开，就可以从摄影机中将胶片拉出来。胶片受

透镜后面的制动器间断控制，这个制动器由一个凸轮来启动，胶片中的缓冲弯和一个弹力不大的弹簧胶片使胶片在短暂控制中不至于被拉坏。每一架摄影机都是在法国工学院车间里手工制作的，马雷是那所学校的生理学教授。木材、黄铜管、钢凸轮是主要的原材料，在快门和胶片之间的折叠腔是皮质的。这种摄影机并不完美，用以移动胶卷的摩擦力不能完全得到控制，胶片的宽度仅为 9 厘米，只容许有限的一组图片摄入，通常约为 40 张。两架具有历史意义的摄影机已经被保存起来，一架保存在伦敦科学博物馆中，另一架保存在巴黎专业艺术学院中。一直到多年后的 1898 年，马雷才开始研究电影投影。

30.9 有功之臣

今天，谁也不会说电影摄影术是某个人发明的，但马雷是第一位成功论述它的基本原理并使之传播开来的人。应该说，有许多人推动和发展了马雷的理论，才使电影得以问世。不过，这些有功之臣所做的工作早已被人忘记。在 19 世纪末期有过的其他一些设想，都被弃而不用搁置了好多年，直到急需一种高速电影摄影机或枪式摄影机时，人们才想起这些已被遗忘的发明，包括詹金斯（F. Jenkins）利用一圈旋转透镜来进行视差补偿以及德梅尼（G. Demeny）通过间歇输出机器来传送胶片（边码 743）。另外一些有功之臣，例如爱迪生（T. A. Edison）、A. 吕米埃和 L. 吕米埃（A. and L. Lumière）等人的名字已和最后的成功

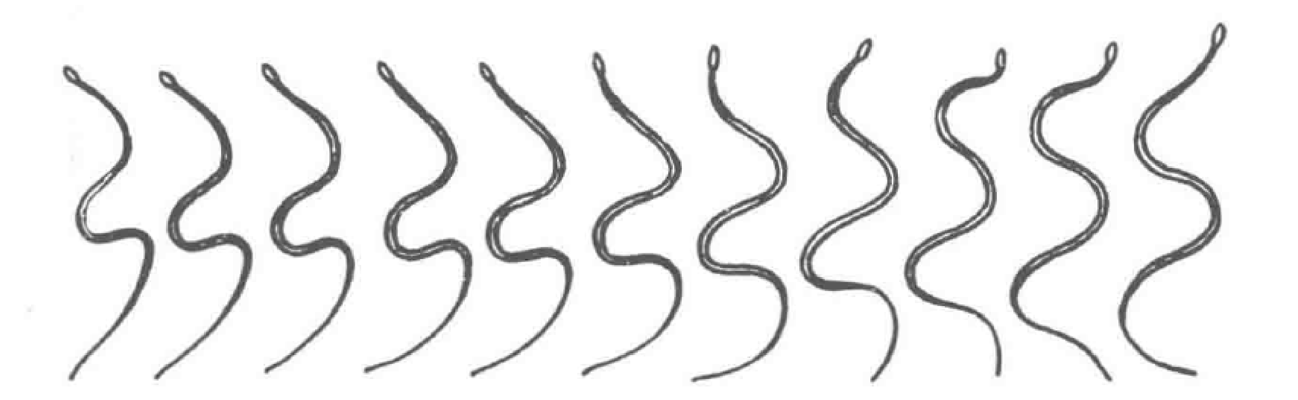


图 394　马雷的盒式定时摄影机拍摄实例：移动中的蛇。

联系起来，将永远被后人铭记。遗憾的是，人们对电影摄影术发明者的国籍问题也争论不休，时常有一些人对他们自己国家的某一位发明家大肆宣扬。本节将说明电影摄影术发明的真实特点是国际性，就像其受益者是全人类一样。

743 在1895年之前的一段时间里，电影界出现许多事情，但这里只简略谈一谈众多作出过杰出贡献者中的一小部分人。1890年，英国的弗里斯－格林（W. Friese-Greene）、埃文斯（M. Evans）和拉奇（J. A. R. Rudge）向巴斯摄影协会展示了他们的电影摄影机——未打孔的63毫米宽的胶片由一个精巧的弹簧装置间歇性地从供片盘移到收片盘，弹簧装置由主轴卷起，重新展开时就使胶片向前移动一格。但是，尽管300格胶片能以每秒10幅的频率曝光，这样摄制的画面却从未放映过。同样值得一提的是多尼索普（W. Donisthorpe）及其1889年的专利，他提议用曲柄上下摇动照相机，胶片在后面连续做间歇移动。1893年，马雷的助手德梅尼为一个被他称为电影放映机的摄影机申请了专利，把两个偏心架设的定片针作为卷片盘，使胶片间歇移动，在两个定片针之间用“一个抓片装置”或拍打器来操作，在画面间歇时把胶片带到一个画片帧中。

1894年4月14日，当这些发明和类似的其他发明还在欧洲大陆摄影界和学术界被讨论时，大西洋彼岸的纽约城百老汇大街上的活动电影放映厅已经营业，成为大众关注的焦点。在那里，爱迪生第一次向公众展示了他对电影摄影所作的贡献。他与助手迪克森（K. L. Dickson）所做的工作可以追溯到1887年，当时他们在研究如何将留声机的声音与移动的画面结合起来。最初，爱迪生试图把画片记录在一个绕着圆筒的卷线上，就像把声音录在留声机的鼓状共鸣器上一样。两年后，他来到巴黎拜访了马雷并观看了他制作的电影。不过，爱迪生于1891年在美国所获得的著名专利中，还是把他的摄影机——活动电影摄影机描述为一种与众不同的间歇运动装置。至

于他的投影机——活动放影装置，则非常接近安许茨（Anschütz）于1889年推出的电动高速变形银幕系统。活动电影摄影机的间歇运动通过两个齿轮实现，齿轮的轴互相垂直，两个齿轮周期性地彼此咬合，使胶片从一个卷轴移向另一个卷轴。这项专利在1897年发布后，上述结构开始为大家所知。爱迪生最伟大、最令人难忘的贡献是他使用了35毫米宽、每个画面有四个孔的赛璐珞胶片，这一发明在60年后仍有价值。在此之前，雷诺（E. Reynaud）在他的手绘明胶滤光片画片上使用过打孔术，并于1888年至1900年期间在巴黎成功放映，也许爱迪生于1889年赴巴黎时曾经观看过。不管怎么说，爱迪生是第一个在摄影胶片上运用打孔术的人。这些两侧等距离的小孔能使胶片精确前行，画面一幅接一幅，带齿输片齿轮可用来在摄影机或放映机上推进胶片。

744

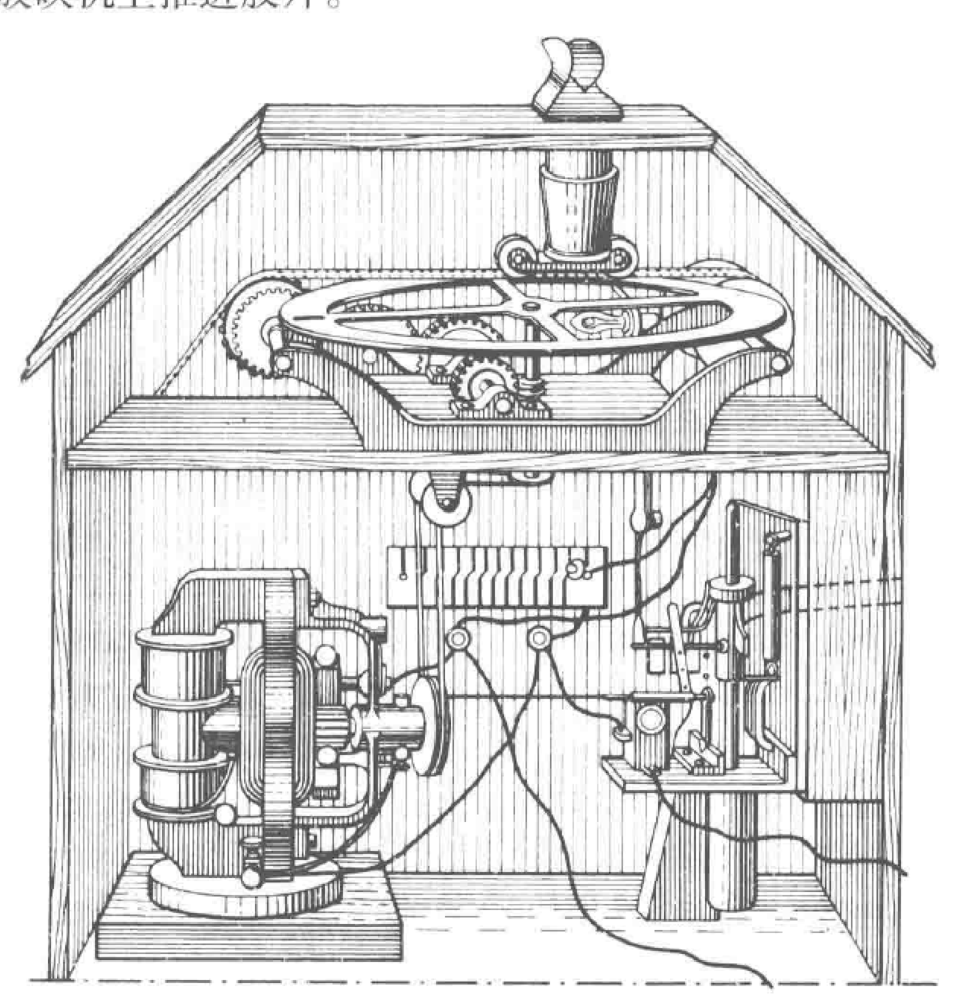
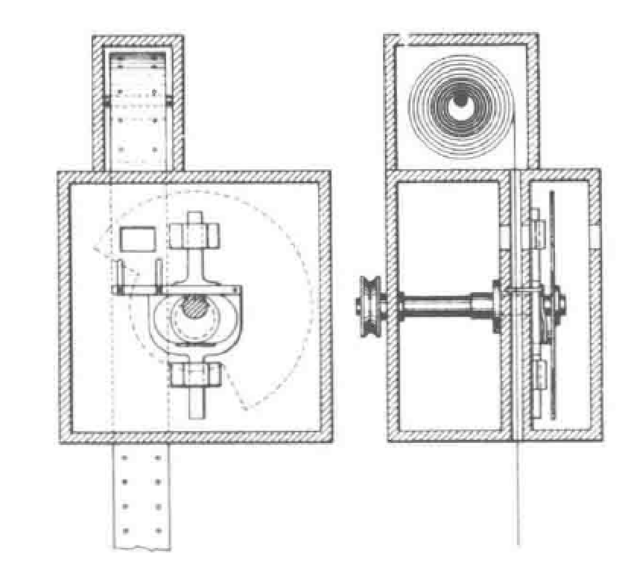


图395 爱迪生的活动放影装置。

爱迪生的放映机用一个小的电动马达来完成胶片的连续传输工作（图 395）。这种放映机不过是一个木制盒子，装有窥视孔及一个透视镜片，通过透视镜片便能看见在它下面经过的不断循环移动的胶片，照射胶片的投影光由背后胶片的一个电灯提供。为了让胶片上记录的每一张画面都被看到，并利用视觉的暂留原理使它们融为一个连续的动作，爱迪生在胶片和镜片之间安装了一个单孔旋转光闸。他使用每秒 46 个画面的速度播放影片，光闸旋转速度也是每秒 46 转。尽管对一个观众来说，这个系统已相当不错，但用于放映则太不经济，因为只有 1/46 的光得到使用。电影放映在欧洲和美国取得的广泛成功，本应让爱迪生想到广大观众对此存在强烈需求，然而他一开始并没有意识到这一点。

提起早期电影摄影的最后阶段，我们不禁回想起法国的吕米埃兄弟（Auguste and Louis Lumière）在里昂经营着十分兴盛的摄影事业。745 他们看过爱迪生的活动放影装置和雷诺的固定胶片，注意到一系列人工绘制的画片以实物大小的尺寸投影在屏幕上。他们将这两种方法结合起来，制造出一种令人满意的摄影机和投影机，一次可放映实物大小的活动画面几分钟，因此声名大振。他们借鉴了爱迪生的胶片打孔术，但在每个画面上只打一对孔，并将画面的移动频率降低到每秒 16 个。相对于人们的视觉滞留来说，这个频率能够获得满意的图像效果，今天的无声电影仍在采用这个标准。他们请工程师穆瓦桑特（C. Moissant）为自己的摄影机设计了抓片装置，能让两个定片针伸进胶片两侧的小孔，当半圆的快门遮挡住镜片和胶片之间的光时，抓片装置便把胶片拉下去。当画面在摄影机里曝光或投影到屏幕上时，两个抓片装置的定片针都会回到它们原来的位置，准备重复胶片的间歇运动。现今几乎所有的活动电影摄影机和一部分放映机应用的都是这种技术。抓片运动由一个扇形凸轮启动，凸轮则由其顶点上的轴来驱动。

吕米埃兄弟让卡尔庞捷（J. Carpentier）的公司来制造自己的机器（图396）。1895年2月13日，他们在法国申请了第一个专利，4月8日在英国申请专利。这一年的3月22日，他们在里昂做了第一次公开展示。6月10日和12日，他们拍摄了法国国家摄影协会代表们到达时的情景，并在两天后将拍摄的场景放映给代表们看，引起很大轰动。当年12月28日，33个好奇的路人走进巴黎嘉布遣大道上的大酒店，每人花一法郎观看“婴儿的午餐”“火车进站”（图版44B）、“里昂交易所的场景”和其他一些类似的短片。约一周后，每晚的观众增加到2000人左右。我们今天所熟知的电影摄影术就是这样出现的，这也成为之后60年大发展的一个起点。


图396 吕米埃电影摄影机。

746

虽然吕米埃兄弟的设备深受欢迎，并且世界各地都在使用，但如果说从它诞生的那天起就被普遍地用来录制和放映电影，那就大错特错了。1896年2月20日，伦敦的保罗（R. W. Paul）紧随吕米埃兄弟之后，在芬斯波赖（Finsbury）科技学院首次放映了他制作的电影。他的摄影机最初用的紧固和松弛装置不够灵活，不适用于胶片，不久以后，他便改用有名的马尔蒂十字车装置。保罗是第一个把这种装置应用到电影摄影术的人，现在它仍是35毫米放映机间歇运动的标准方法。保罗的名字要同他的同事阿克尔（B. Acres）连在一起，后者是一位电影摄影师和广告影片放映员。他们最引人瞩目的一次成功是在1896年拍摄的德比赛马，拍摄的当天晚上就在莱塞斯特广场的阿罕布拉剧院放映了这部片子。

本节只讲述了电影摄影术发展的主线，通过回顾1895—1900年

电影摄影术发展中的许多艰难曲折，不难得出结论。至少从理论上来讲，胶片可以连续运动，但只能放映很短的时间，例如爱迪生的活动

747

放映装置。胶片也可以相对静止，或在视觉上静止。此外，胶片的间歇运动可通过下述途径实现——蜗轮和凸轮齿轮的相互作用；改变输片齿轮的位置；使用棘轮；两个卷轴周期性地抓片。另外，胶片也可以通过齿轮与弹簧齿的接触，把齿插入或拔出抓片齿或用像叼片牙那样的装置来实现间歇运动。再则，胶片也能利用偏心轮的压力，或通过往复运动的主杆，或通过制动闸移开后的弹簧杆来完成间歇运动。在1900年以前，这些方法曾有人尝试过。尽管这些设备很少保存下来，这段时期的专利文献却记载着这些装置发明者的名字和有些古怪的名称。1899年，霍普伍德（H. V. Hopwood）对大部分不同类型的摄影设备都作了详细的描述（图397和参考书目）。他认为“活动放影装置”和“电影摄影术”这类术语并没有被广泛认同，建议用“动画

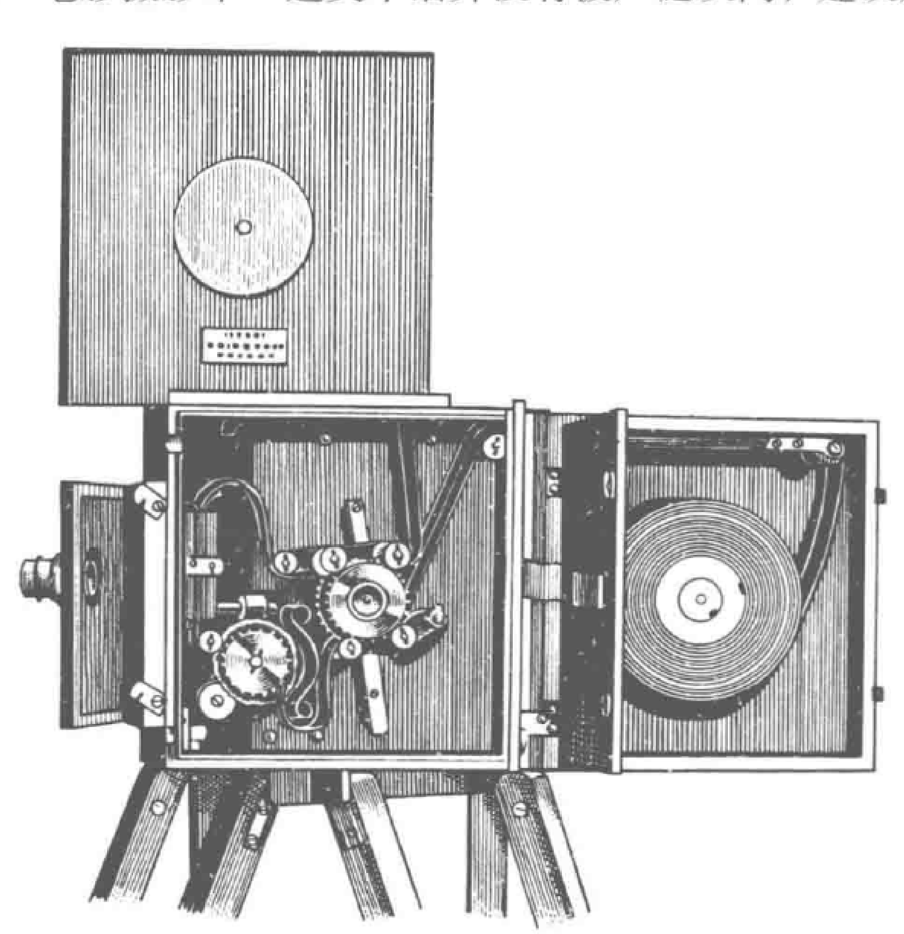


图397　普雷斯特维奇（Prestwich）摄影机，一种出现于19世纪末期的大型仪器。

片摄影术”这一术语来描述。

30.10 胶片

前文（边码729、边码737）已提及海厄特在1868年首次制出了赛璐珞，[1]当时它只用来生产固体的模塑，直到20年后才能生产薄膜赛璐珞。许多人几乎同时意识到，如果把薄膜赛璐珞制成能感光的条带，便是一种记录动作的理想材料。第一个产生这个想法的显然是古德温（H. Goodwin），他在1887年5月2日申请了这个项目的美国专利，但直到1898年9月13日才得到正式批准。纽约罗切斯特的伊斯曼率先把理论付诸实践，制造出一种涂有感光乳剂的赛璐珞胶片，他和古德温后代之间旷日持久的讼争最终得到了解决。在法国，吕米埃兄弟从一开始就制造出自己的胶片，其他制造商是巴拉格尼（Balagny）公司和布莱尔（Blair）公司。

在1900年以前，胶片一律分批生产，直到很久以后才出现流水生产。不管如何生产，原理总是相同的。硝酸纤维素溶解于合适的芳香族溶剂中，掺入樟脑或一些其他材料，再倒在铺有玻璃面、长达30米的桌子上，溶剂蒸发以后，乳剂——一种明胶与卤化银的混合物便形成了。最后一步是用滚筒剪刀把薄胶膜切成所需的宽度，但在进行这一工序的时候，早期的电影制造商和电影摄影师遇到了麻烦。 748

各种摄影机所使用的胶片的尺寸是不同的。电影摄影机的胶片是70毫米宽的，斯克拉达诺斯基（Skladanowsky）的摄影机用65毫米宽的胶片，德梅尼（Demeny）和普雷斯特维奇（Prestwich）的摄影机用60毫米的胶片，吕米埃的规格是35毫米，爱迪生的则是34.8毫米。“博泰克”（Birtac）公司大概是最早使用窄尺寸胶片的，用的是17.4毫米的材料，这和“新型”普雷斯特维奇摄影机要求的尺寸相同。除了胶片宽度不同之外，每一款摄影机传送胶片的方式也不同。有一些摄

1　伯明翰的帕克斯在1865年就已经取得相同产品或类似产品的专利权，但他在制造该产品时遭遇失败。

影机不需要将胶片打孔，可以使用胶片的整个宽度。那些在胶片上打孔的人，最初对孔的尺寸、孔的数量和孔的准确形状等方面的意见都不统一，因而有必要给每一台摄影机配备一台打孔机，所有的胶片在使用前都要在黑暗中打孔。这样一台摄影机拍摄出来的胶片，显然只能在与胶片尺寸和扣轮完全匹配的机器中播放。另外，在摄影机里曝光的胶片必须是负片，放映前得拷贝成正片，因而需要一台印制设备，设备要求的尺寸也必须是一样的。

难怪早期的许多发明家们声称，他们已制作出可根据操作者的要求用于摄影机、放映机或印制设备的多用途机器。然而，这种想法却从未被接受过。19 世纪末 20 世纪初，每个画片打有 4 个矩形孔的 35 毫米宽胶片已作为一种标准而被认可，电影摄影术迅速而成功地传播便是明证。尽管感光乳剂的载体已由易燃不稳定的硝酸纤维素换成了稳定安全的醋酸纤维素，但是标准的胶片尺寸和孔位直到 50 年后才改变。

749

胶片曝光后需要冲洗显影，最原始的方法是在一个大槽内人工传送胶片。后来的改进方法是把胶片卷在一个圆形或矩形的架子上，再依次浸入显影液、水洗液和定影液。将胶片卷在大的鼓轮上，这是长达 30 米的胶片显影最好的办法，也是 19 世纪前应用的唯一方法（图 398）。这些鼓轮的直径约为 1 米，长度略大于 2 米，由网格构成，卧式轴由装在浅槽上的竖直支架支撑，操作者不用费太大力气就可转动它。当鼓轮上的底片绕到一定厚度时，鼓轮就从槽的支架上移出搬到另一架上，这样所有胶片都可以均匀且统一地受到不同溶液的作用。当最后的干燥工序完成时，胶片还卷在鼓轮上。1900 年，胶片的生产、摄影机的制造和底片冲洗都处于试验阶段，直到几十年以后才开始大规模的生产。

750

然而，技术受限并不意味着当时摄制在胶片上的内容也是少而有限的。19 世纪的最后 4 年，一位摄影师所遇到的困难实际上很难克服。

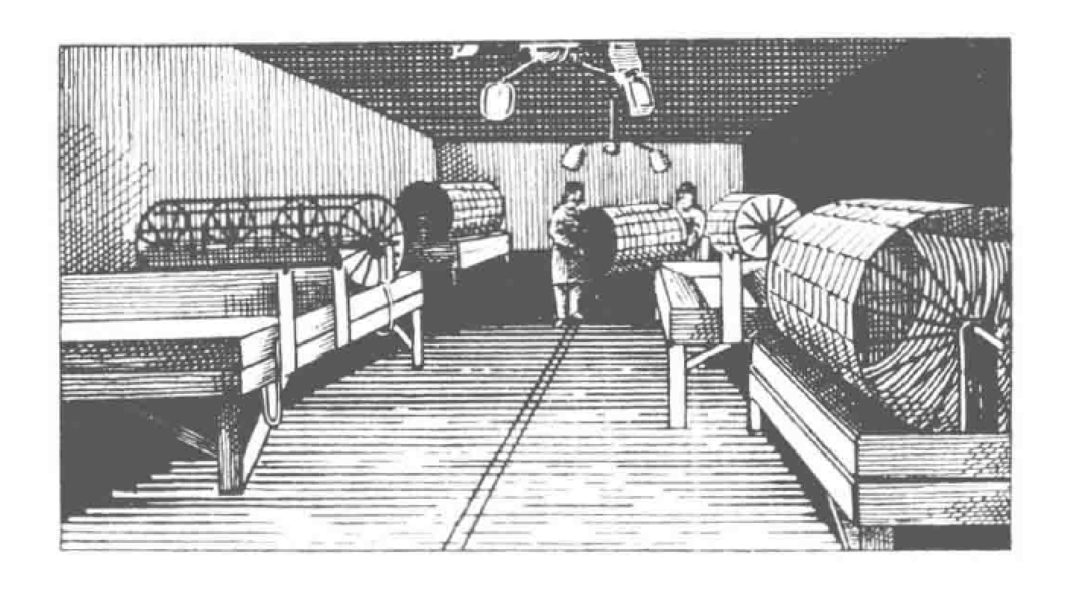


图 398　19 世纪前典型的胶片显影车间。

他只能利用阳光照明，很费力地用手摇摄影机来拍摄。他用木制三脚架来固定摄影机，但底片曝光量、距离和持续的时间只能凭经验来判断。摄影师成功的要素是选材的独创性和坚定的决心，一旦吕米埃兄弟证明拍电影能挣到钱时，这些人便纷纷起程向世界最远的角落进发，到 1896 年中，电影首次公映后仅 6 个月，一位摄影师就远赴澳大利亚拍摄。当时，公众事件和体育活动是最流行的拍摄题材，1898 年拍摄的苏丹军事战役可能是第一个有关战争题材的影片，而工业题材的片子同样没有被忽略，拍摄能在露天或是有照明设备的地方进行。

除了上面所提到的，我们还应该提起法国电影摄影师梅里爱(Georges Méliès)的名字，他杰出的想象力和高超的技术，为年轻的摄影艺术开辟了一条后人可以追随的道路，这条路一直到现在仍然延续着。到 1896 年底，他已成功地摄制了 17 部片子。他的著名的群星电影公司(Star Films)，到 1910 年共摄制 4000 部电影。有许多短片佳作至今尚存，仍给现代观众带来无限的乐趣。在蒙特勒伊，梅里爱在充满阳光的小小摄影工作室里创造出许多离奇的场景和人物——魔鬼、令人毛骨悚然的幽灵、小丑、巨人、怪兽和机器人等。他永不满足，是第一个应用二次曝光、跟踪摄影、动画模特、剪影等摄影技巧



图 399　梅里爱的摄影工作室。

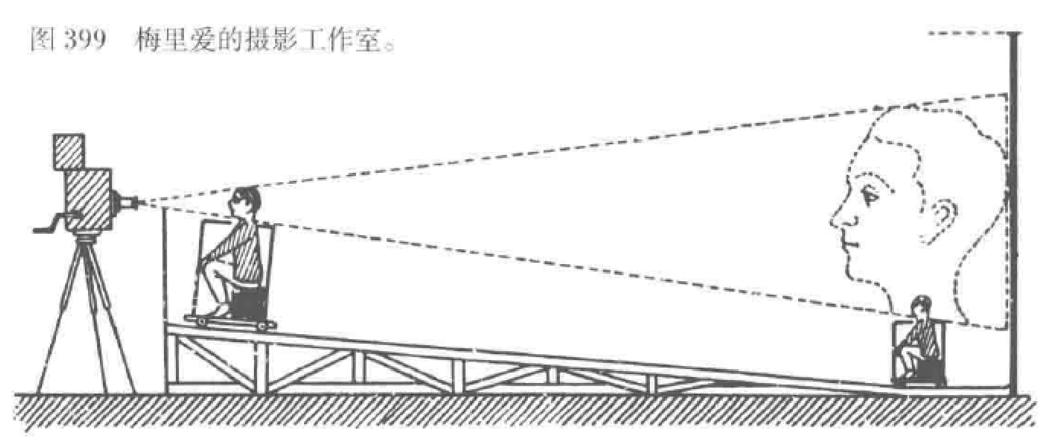


图 400　梅里爱摄制电影时所用的机械装置（图 399）。

的人（图 399、图 400）。很显然，这位摄影方面的魔术师已经意识到，他在电影方面的多才多艺足以给他的想象力提供无限的机会。

作为 20 世纪的娱乐工具，摄影机被用来向世界展现过去的、现在的以及未来的富有想象力的故事，从世界各个角落给我们带来真人真事和时事新闻，记录我们和邻国的社会状况，在大学和中小学里用于教学，帮助科学家进行研究工作，使他们看到用肉眼无法发现的东西。

参考书目

Coissac, G. M. 'Histoire du cinématographe de ses origines jusqu' à nos jours.' Gauthier-Villars, Paris. 1925.

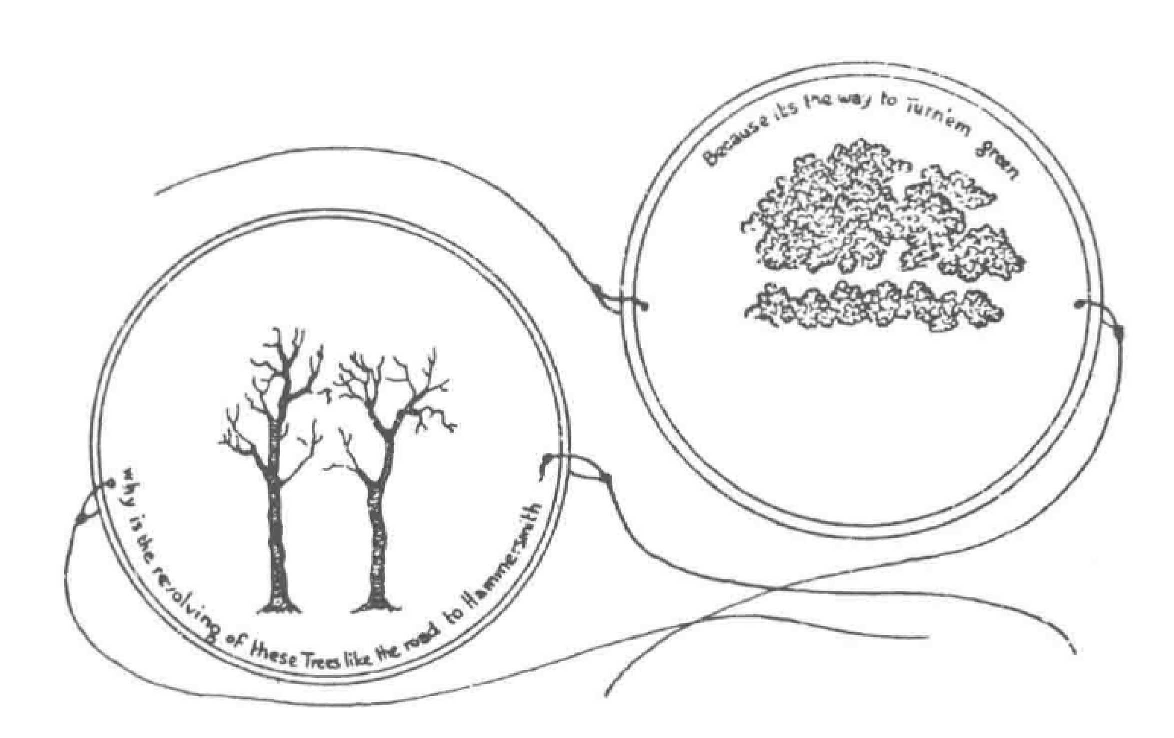
Hopwood, H. V. 'Living Pictures : their History, Photo-Reproduction and Practical Working.' London. 1899.

Liesegang, F. P. 'Zahlen und Quellen zur Geschichte der Projektionskunst und Kinematographie.' Deutsches Druck-und Verlagshaus, Berlin. 1926.

Quigley, M. (Jr.). 'Magic Shadows. The Story of the Origin of Motion Pictures.' Georgetown University Press, Washington. 1948.

Ramsaye, T. 'A Million and One Nights. A History of the Motion Pictures.' Simon & Schuster, New York. 1926.

Vivié, J. 'Traité général de technique du cinéma', Vol 1: 'Historique et développement de la technique cinématographique.' Bureau de Presse et d' Informations, Paris. 1946.



"留影盘"或"影像旋转器"(正面和背面), 1826 年。

第31章 橡胶的生产和利用

S. S. 皮克尔斯（S. S. PICKLES）

752

31.1 橡胶的性质

生橡胶（caoutchouc 是一个土著词，意为滴水木）以极为细小的球状粒的形式，悬浮在某些热带植物树皮内的水样液体中。能产橡胶的植物各式各样，起源于不同的属和种，广泛分布在世界各地。主要的一种被称为三叶胶（*Hevea brasiliensis*）或称帕拉橡胶（Para rubber），是南美特有的植物，现被广泛引种于马来西亚、斯里兰卡和印度尼西亚。其他属、种的橡胶树，分布于墨西哥、非洲、印度、东印度群岛及其他地方。



图401 从巴西帕拉树上采集胶乳的方法。

胶乳是白色乳状液体，由位于树皮内层的一种细胞所分泌。它不是橡胶树的真正树液，而是一种功能不明的独立分泌物。胶乳生成系统中存在随季节而变化的内压，一旦切掉一部分树皮露出这种细胞，胶乳便淌入形成的切口里，这时即可将胶乳收集起

来备作进一步加工。这种切割过程被称为“割胶”。南美土法割胶用一种名叫 *machadinhas* 的小斧割开树皮，用一些被湿黏土粘在树上的杯子接取胶乳（图 401），然后倒入大容器中，经加热和烟熏综合处理后变成硬生胶。

在胶乳中，橡胶以直径约为 1/16000 英寸的微小颗粒存在，并悬浮在由水、少量糖和水溶性蛋白质组成的液体中。当加入某些物质——例如酸或某些盐时，橡胶微粒便会凝聚成硬生胶块，从母液中分离出来。这种被称为“胶凝”的方法多由巴西传入，操作过程是将胶乳薄薄地涂在木制搅棒上，放到燃烧着木头的火盆上烟熏。待这层薄膜熏干后，再涂上一层胶乳，重复上述过程，直到搅棒上面集聚成一大团硬生胶，然后将其切下。现代化工艺如同东方橡胶园中采用的那种方法，用特制的割胶刀在树皮上割一个斜切口，用铝杯或玻璃杯收集胶乳，再将杯里的胶乳倒入大容器中送到橡胶园工厂，在那里先进行过滤去除杂物，然后适度稀释并加入适量醋酸形成胶凝。胶凝过程在凝结罐中进行，罐的上部用板条分成许多隔室。胶凝过程完成后，将胶凝块放在滚筒间滚压，去除乳清，然后漂洗，再滚压，直到制成约为 1/8 英寸厚的均匀的生胶片。这种生胶片可风干成“白皱橡胶”或在烟熏室中干燥成“熏片”。

在物理学上，橡胶是一种易于变形的弹性固体，固有特性是形变后可恢复原形。包括玻璃和钢在内的许多物质都具有很好的弹性，但与橡胶相比，它们在弹性限度内形变的程度要小得多。相对金属而言，橡胶几乎不存在弹性限度，把一块橡胶拉长到原来长度的 7 倍，它仍然可以恢复原状，甚至拉断以后，断片也能恢复到原来的尺寸。橡胶还具有很大的强度，现今制备的橡胶的抗拉强度几乎达到每平方英寸 20 吨，这是依据断点的截面计算出的。虽然橡胶未经化学分解不会熔化，但仍表现出可塑性并易于加工，可模制或压延成任何需要的形状，成型后可保持永远不变。这样，我们就得到一种来源于植物的

材料，在一定范围内易于进行类似冶金那样的加工。它所具有的弹性、稳定性、抗空气腐蚀性以及加工中的适性等，构成了其他天然材料所不具备的优良特性的独特组合。此外，通过运用不同的加工方法，橡胶产品的质地可在非常柔韧的橡胶丝和硬度极高的硬质橡胶之间变动。

754

31.2 早期文献记载

从发现美洲大陆起到15世纪末这一期间的西班牙历史学者，提供了关于天然橡胶或生橡胶的最早资料，其中提到西印度群岛的土著人在民族游戏中使用橡皮球。近期关于古代阿兹台克人和玛雅人的生活和风俗习惯的研究表明，早在700年前人们就已经普遍使用各种各样的橡胶制品，使用橡皮球进行的集体游戏已成为当时社会生活的一道风景线[1]。

自16世纪起，有许多文献提到南美土著人熟知的产橡胶的树，切开这种树的树皮，就会有乳状胶液流出。人们用这种胶液制成胶膜（大概用蒸发的方法），把胶膜放到用黏土或类似材料做的各类成型模中，便可制成形状、大小各异的物品。防护衣、鞋、喷水器、盛液体用的碗盆及其他家用物品的制作用的都是这种方法。

31.3 橡胶引进欧洲

虽然新大陆的西班牙殖民者很快熟悉了橡胶，而且事实上早在1615年就已经用它来制作士兵的防风雨斗篷，但200多年间欧洲各国似乎很少有人想到进一步扩大和发展它的应用范围。最终，法国人率先着手研究橡胶的性能、来源以及进口的可能性，以便利用橡胶在欧洲生产实用产品。1736年，法国科学院派赴秘鲁考察队的一位成员孔达米纳（Charles de La Condamine，1701—1774）向法国科学院递交了一份旅行报告，描画了他沿亚马孙河穿越南美大陆时的所见所闻，并附上了他在旅行期间得到的几卷黑色树脂状生橡胶。

在1751年给科学院的另一封信中，他[2]进一步提供了这种材料的有趣详情。

与此同时，孔达米纳的同胞弗雷诺（Fresneau）也就同一主题向科学院递交了研究报告。报告称生橡胶是从一种名叫*Hhévé*的树上取得的，在这种树的切口中会淌出一种白色的乳状液体，遇到空气后就逐渐变硬发黑。土著人用整片树胶做成靴子，这种树胶可防水，经烟熏后有皮革样外观。若用黏土模还可做成盛装各种液体的瓶子，将胶乳涂在帆布上可制成防雨布。

弗雷诺对产生橡胶的树做了鉴定并描述了其特征，还弄到了少量胶乳，用当地的土法为自己做了一双靴子、一些手镯和其他物品，所有这些东西全都有弹性。他虽然意识到有可能用橡胶制作实用物品，但也清楚地认为要扩大橡胶的应用，生产出比土著人用新鲜胶乳制作的粗糙物品更精细的产品，还必须克服许多困难。他在研究报告中阐述了这样的观点，即只有在长有橡胶树且采集的胶乳来不及凝聚的地方，才有可能用土著方法制作橡胶物品。当时，人们还未发现使胶乳稳定在液态的方法，事实上直到许多年后，使胶乳有效的长途运输才成为常规方法。由于胶乳易自然凝结，后来大部分运入欧洲的橡胶是用土法制成的瓶状或大球状的固体胶。

孔达米纳和弗雷诺在1751年公开发表的报告，几乎立即引起了欧洲科学家和技术人员的兴趣，他们察觉到这种新型材料的柔韧性和弹性具有潜在的重要性。学术刊物开始发表探讨文章，并对橡胶样品进行试验和科学研究。在早期的研究中，许多课题集中在探索能溶解固体橡胶的理想溶剂上，因为坚韧而有弹性的固体橡胶不适用于当时的任何一种生产工艺。1763年，法国化学家埃里桑特（L. A. P. Herissant，1745—1769）和马凯（P. J. Macquer，1718—1784）提出以精馏的松节油为溶剂。1768年，马凯又发现提纯的乙醚是适用于橡胶的溶剂。

31.4　早期技术

马凯将石蜡芯反复浸入橡胶乙醚溶液，再把溶剂蒸发掉，然后移至热水中溶化掉石蜡芯，从而制成了小橡胶管。虽然这仅是旨在吸引外科医生及其他有可能使用这种新材料的人的科学演示，却指出了进一步发展的方向。1791 年，格罗萨特（Grossart）[3] 发明了制作胶皮管和其他小型产品的新方法，对后来生产方法的进步产生了深远的影响。

在这种方法中，挥发性溶剂只是用来软化固体橡胶并使之有黏性。格罗萨特将巴西土制的“瓶”形橡胶切成大小适中的条和薄片，放入挥发油中短时间浸泡，待泡松变软后缠到芯棒上，用适中压力扎上螺旋形绷带，干燥后，橡胶黏合固结，保持已形成的形状。这样制成的产品相当流行，并显然深受当时外科医生的欢迎。

1770 年，普里斯特利（Joseph Priestley，1733—1804）发现橡胶块可以擦掉图纸上的铅笔痕迹。这一发现引起了绘图员的关注，从此英国出现了“橡皮”这一名称。不久，橡皮在各文具店都有销售，成了人们的常用物品。

18 世纪末期，试验仍在继续，只是其成果不足以昭示一门新兴工业的崛起。从当时的文献中得出的一条结论是，法国人在集中精力研究橡胶在医学和外科中的应用。格罗萨特的工作吸引人们把这种柔韧、有弹性的材料用于外科器材，例如用于止血带、绷带、洗胃器、冰袋和导管等物品。1788 年，卢卡斯（J. Lucas）在《伦敦医学杂志》（*London Medical Journal*）发表了一篇关于弹性绷带的文章。然而，或许由于轿式马车与乘车旅行日益盛行，英国人早期的注意力主要集中在把橡胶涂布在皮革、棉布和其他纤维织物上制造防雨材料。

最早的橡胶专利中有一项是皮尔（Samuel Peal）在 1791 年取得的，他改进了在各种皮革、棉布、亚麻、羊毛上覆盖防水材料的制作方法，用它们制成鞋、靴和各种服装。皮尔只用松节油或其他醇类将橡胶调成溶胶，或使用天然胶乳，用刷子或能刷出均匀薄层的其他工具将这

种溶胶涂布在上述材料表面，然后将其放入干燥室或库房直至干透。迟至19世纪，还不断有人申请防水材料的发明专利，但橡胶的广泛应用——包括硬质橡胶制品的生产和实际制作工艺的改进，在19世纪初便已开始。

人们用注入橡胶的织物制作气球，一个充满氢气的橡胶布气球在1783年升上了天空（边码395）。据说1803年在靠近巴黎的圣但尼，人们用格罗萨特的胶带法制作吊袜带，通过拉伸粘在编织带上的生橡胶片产生弹性。1813年，克拉克（John Clark）取得一项关于制作充气床、气枕和气垫的专利（英国专利3718号），其方法是将这些物品的内芯浸入用松节油和亚麻籽油溶解的橡胶溶胶中。

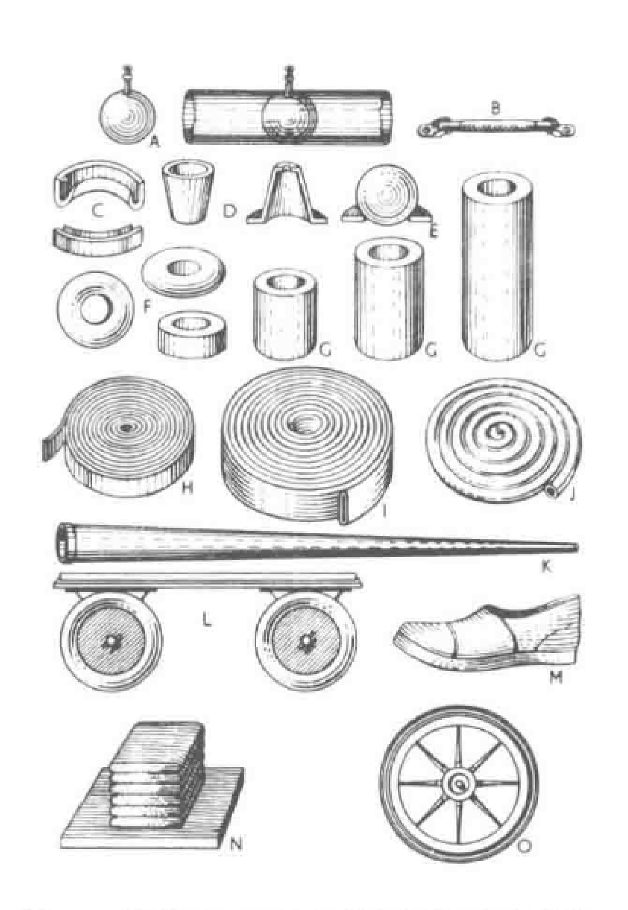


图402　汉考克于1856年制造的用于机械的橡胶制品。

（A）检测管路用的气囊（还显示出放在管内的气囊）；（B）门弹簧；（C）液压油缸密封垫；（D）唧筒吸子（还显示了剖面）；（E）插入式球阀；（F）缓冲环；（G）筒形物；（H）机器用胶带；（I）水龙软管；（J）胶管；（K）救火机管道末端的软锥形管；（L）无噪声货车车轮用的橡胶轮胎；（M）啤酒作坊鞋；（N）提升机弹簧垫块；（O）马车轮胎。

31.5　机械制造过程的引入

757

1812年是橡胶工业编年史上特别难忘的一年，因为汉考克（Thomas Hancock，1786—1865）申请的一项专利在4月29日被批准，它“将某种材料用于各种服装和物品上，使它们有较大的弹性”，用橡胶制作一种当时弹性最好的物件，这是这项发明的目的。将长度和厚度适中的生橡胶带封在皮革、棉织品或类似材料做成的皮条或布条中，松紧带末端用缝合或其他方法固定在物件上，松紧带可缩得相当

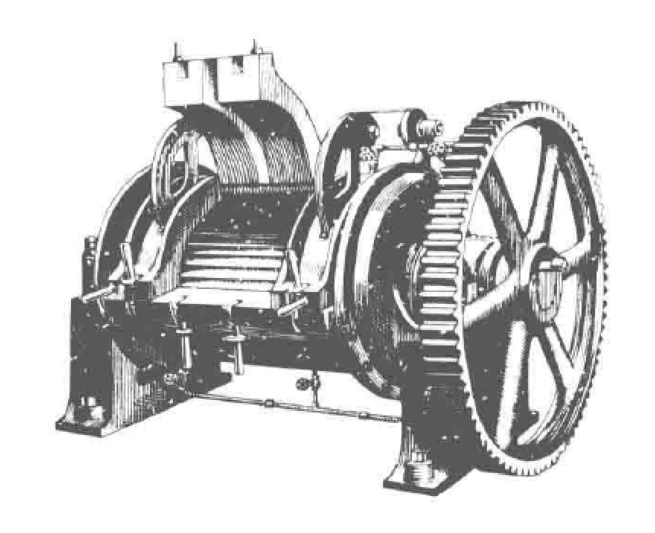


图 403　老式的布里奇单滚筒塑炼机，后被开放式双滚筒混炼机取代。

短，“这样制成的有弹性的松紧带可用作手套的腕部收口、背带、吊袜带等，或用于不必解鞋带就可以脱下来的鞋和靴等”。汉考克还用橡胶制作靴底、鞋底和木屐底，使人走起路来有弹性。就我们所知，这是提及这位杰出人物最早发表的文献。他在橡胶工业的创建中起了举足轻重的作用，发明并推出了加工生橡胶的机器和工艺流程，并为扩大橡胶的应用和普及橡胶产品做出了不懈的努力。

汉考克对橡胶的兴趣始于1819年前后，注意到橡胶非同寻常的特性后，他非常惊讶于这种物质居然一直未受重视，至今都没有发现将它转变为固体或简化其溶解的方法。他在首次试验中以松节油为溶剂，只得到一种不易变干的稀溶液。他想到橡胶可直接用于对弹性有需求的多种方面，并朝这个方向努力，结果获得了上述专利。汉考克使用的原料是土制“瓶”橡胶，选用小而细的瓶状橡胶，将它们切成环形，主要缝在手套及衣袖的腕部，这样他就能很便利地得到适用的原材料。但是，随着这些产品贸易量的增长，问题就接踵而来了，首先是大小适中的瓶状橡胶的供应问题，然后是迅速堆积的橡胶碎片的处理问题。不久，他不得不寻求处理废料的方法，以及获得大量适于制作各种形状、大小物品的橡胶的途径（图402）。

31.6　塑炼机的发明

在尝试利用压力将废料固结时，汉考克发现新切口粘得很牢，而陈切口却粘不住。为了克服裸露表面失去黏性所产生的困难，他决定

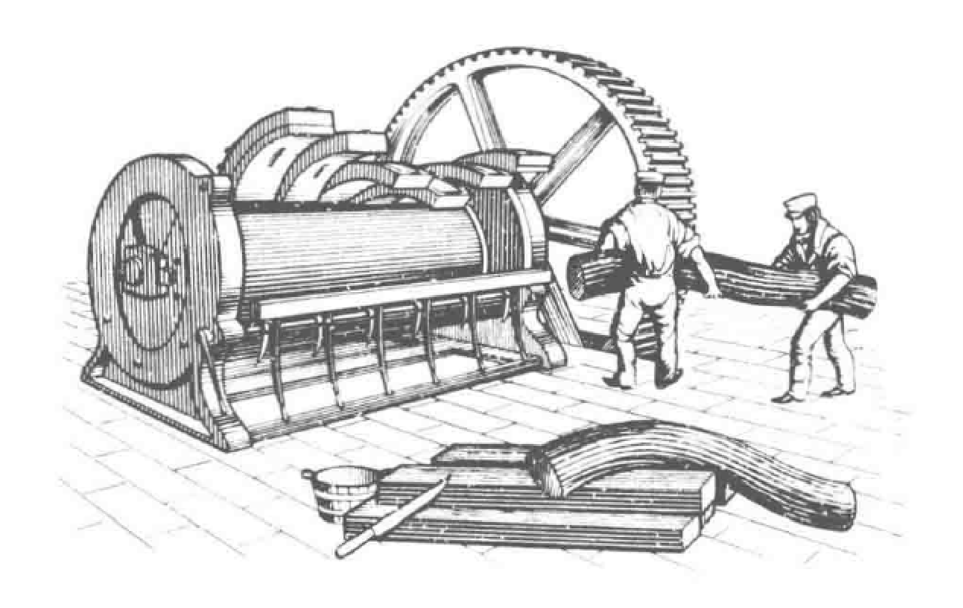


图 404 大型塑炼机，显示加工后橡胶的取出和切割。

将橡胶切成碎屑并设计了一台试验用机，希望能借此达到目的。这台机器包括一只内表面布满齿牙的空心木制圆筒，圆桶中心旋转着一只外表面也布满齿牙的实心滚筒，从而在两个筒间形成一个环状空间。汉考克原来设想当内滚筒旋转时，橡胶会被齿牙切成碎屑，但试验结果完全出乎意料。汉考克在试验中发现，随着时间的推移，机器转动需要的力越来越大。当打开圆筒时，他惊讶地发现橡胶非但没有变成碎屑，反而结成了一个球。机器的继续转动，在一定程度上改善了橡胶废料的分散，进而形成一团均质的固态橡胶块。

这台简易装置仅能容纳 2 盎司橡胶带，但不久便造出了功率较大的可将橡胶加工成圆柱形的大型机器（图 403）。通过在铁制模子中挤压这种圆柱形橡胶，汉考克便能获得任意形状和大小的橡胶块，并按照需要切开，制作各种物品。

759

人们把始于 1820 年的这种工艺称为“塑炼”(mastication)，进行塑炼的机器被称为“塑炼机”(masticator)，虽然开始时曾为保密而称其为“浸渍”(pickle)。它是现代开放式炼胶机和塑炼机（图 404）的原型。除空心筒壁上的齿牙因不必要而删去外，汉考克使用的大型机器的原理与刚开始设计的机器的原理是相同的。橡胶的批量生产最终

成为可能，每批产量可达180—200磅。

汉考克在1856年发表的一篇文章[4]中指出："确切地说，这一工艺的诞生（1820年）无疑是天然橡胶生产的开端。"紧随其后的是橡胶工业其他方面的发展，包括切片和切胶丝生产以及混炼工艺的采用。

31.7 橡胶切片的生产

经过汉考克处理的成型塑炼橡胶块，已能为他的专利弹性产品提供原料。接下来，他又想到这种橡胶块应该可以被容易地切成薄片，用于各种其他用途。他制作了一套简易装置[5]，其中包括一只木箱，箱内可容纳一块大小适度的方形橡胶块。木箱四壁的上缘附有光滑的钢板，下边用4只长螺杆锁紧一只可以按需要上下移动的活动底。将每侧充分涂抹了肥皂的橡胶块放入木箱中，用螺杆调节高度，直到其上表面稍高于木箱上缘的钢板，然后将一把不断蘸水保持湿润的长钢带刀，从橡胶块的右侧切入，并平稳地一直推到橡胶块的另一侧。按照所需要的橡胶片厚度调节螺杆，重复上述操作，就能生产出优质橡胶片。采用这种机器，还可以切出薄薄的半透明的橡胶片。加热后，这种橡胶片的边缘可以很容易地黏结在一起，用这种方法可制成大张橡胶片。

这种"切片"成为一种标准商品，被汉考克用于多个方面，包括制作胶管甚至制作弹性胶丝。他制作弹性胶丝倾向于选用进口的瓶状橡胶，因为它的强度极高。

31.8 切胶丝

制作胶丝[6]要选用最粗大的瓶状橡胶，将在热水中泡软的瓶状橡胶沿纵向割成两半后放到两块平板间压扁，冷却后就粘在板上，然后输送到切割机。这是一种带旋转圆刀的车床，刀口恰好触到粘有压

扁的瓶状橡胶的平板表面，粘有橡胶的平板滑行过刀口时便被整齐地切下。平板每次滑行的距离约为 1/16 英寸，重复这样的切割，直至将整幅橡胶切割完。

然后，将粘有橡胶的平板放进一个与切片旋床类似的装置里，利用装置中的刀具沿水平方向切割平板上的橡胶，便得到长约为 5 英寸、截面为方形的胶丝。将这种短胶丝的两头用剪刀修平，趁热压接，它们便黏结起来。用这种方式几乎可制成任意长度的胶丝，可在弹性织物和弹性带生产中用作经线。

后来，汉考克用塑炼胶制成管子或筒形物，作为模型送给帕拉的土著人，后者采用烟熏土法用胶乳模仿制作类似的管子。英国曾大量进口这种管子，将它们放到车床的心轴上，通过螺旋调节和滑动，用圆刀切割便可得到条状的长带，然后用另一台机器将长带切成见方的胶丝，这样就制作成接头较少的长胶丝。

31.9 混炼工艺

塑炼的采用为橡胶工业的进一步发展奠定了基础，橡胶制造中的另一重大改进是橡胶与其他材料的混炼。此前，汉考克已发现塑炼大大促进了橡胶在普通溶剂中的溶解。1823 年，他获得了将沥青、焦油与橡胶混炼的专利，首先将橡胶溶解在松节油中，然后将其他配料加入该溶胶。后来他发现，塑炼机中的沥青不用溶剂便可与橡胶均匀混合[7]，从而大幅度降低了成本。所以，最早的干式混炼看来是在塑炼机中进行的，汉考克手中的同一部机器便有了两种用途。

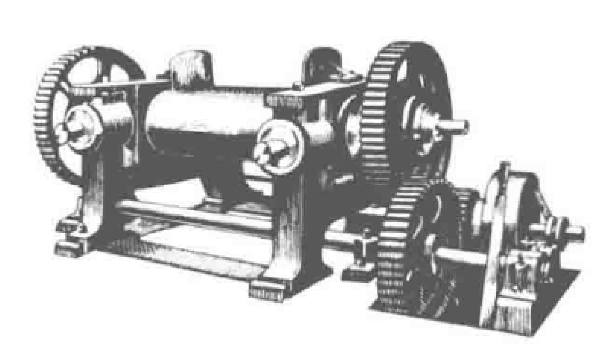


图 405 早期的开放式混炼机由两个水平放置的滚筒构成，两个滚筒以不同速度朝相反的方向旋转。这种混炼机用于混合橡胶与其他配料。

然而，开放式双滚筒混炼机早就投入使用，而且在 19 世纪末密封式混炼机出现前一直没有

任何改变。

开放式混炼机由一对水平放置的铁滚筒构成，两个滚筒以不同速度朝相反方向旋转，它们之间的距离可以按需要调节（图405、图406）。铁滚筒是空心的，必要时可导入蒸汽和水进行加热。橡胶在滚筒间通过时不仅被加热和挤压，而且由于两个滚筒的转速不同而被撕扯开。在混炼机中经过几个通道后，橡胶变成一条连续的带，绕在前滚筒上并随之转动，每转一次就通过“滚隙”一次。当它逐渐变得像面团一样黏稠时，便可加入各种配料。用导料勺将配料均匀地撒在转动着的橡胶上。为了使配料分布均匀，要反复切割和折叠橡胶片。然后将从机器中取出的混炼胶料切成厚片，冷却后做进一步加工。

31.10 橡胶涂层工业的兴起

大约在此期间，格拉斯哥的一位化学工厂主麦金托什（Charles Macintosh，1766—1843）发现，焦油苯（煤气工业的副产品）是一种有效的、令人满意的橡胶溶剂。他将土制的“瓶”橡胶切成条，浸入这种易挥发的液体中，就得到一种被称作清漆的橡胶水，用刷子或其他合适工具将其涂在布面上，可使之不透气、不渗水。当溶剂蒸发后，布面上留下一层有黏性的橡胶层。将涂层面朝里的两块布叠在一起施压，便制得复合织物——后来被称作“双层胶布”（double texture）。1823年6月17日，麦金托什取得了这项生产工艺的专利，包括这种特殊溶剂的使用和防止胶浆出现在织物表面的方法。



图406 成行排列的混炼机。

这种复合织物刚一问世，便在雨衣、气垫和许多其他用品的制造中获得了成功。用它制作的

雨衣被称为“麦金托什雨衣”，这个名称直到今天还在使用。1824 年，一家生产这种产品的工厂在曼彻斯特开设了。

1825 年，汉考克获得使用麦金托什专利的许可，包括焦油苯的使用。他将焦油苯添加到塑炼胶中，从而使溶剂的使用更加经济，因而被邀请到麦金托什公司的工厂内调制这种橡胶水。他亲自监管新车间的配置，从 1834 年开始成了这家公司的合伙人并担任公司董事，并在此期间的 1837 年发明了涂胶机[8]。稍加改进后，这种机器今天仍广泛应用于橡胶涂层。利用这种机器（图 407），可高效率地生产长材防水布，并可按需要剪用。

把待涂胶的布输送到一个金属平板床表面，或一个转动的空心滚筒表面，滚筒的长度应大于布的幅宽。涂胶机是一个锥形长金属盒，其下部几乎收缩成一条边。涂胶机的支架可以调节，使这条底边处于金属床的上方并且与之平行。待加工的布铺在金属床与涂胶机的底边之间，在进料侧放置一堆预先用混合溶剂适当软化的橡胶泥，当布被慢慢拉过，橡胶泥就均匀地涂在布上，并牢牢地粘在上面。

这时，涂过胶的布通过机器的另一部分——加热的金属台，蒸发掉溶剂，留下一层干橡胶。重复这一操作，直到达到所需要的厚度为止。如果要制成双层胶布，可如前所述，将两块布都涂上胶，涂胶面对接后放置在两滚筒间，施以足够的压力使之黏合。

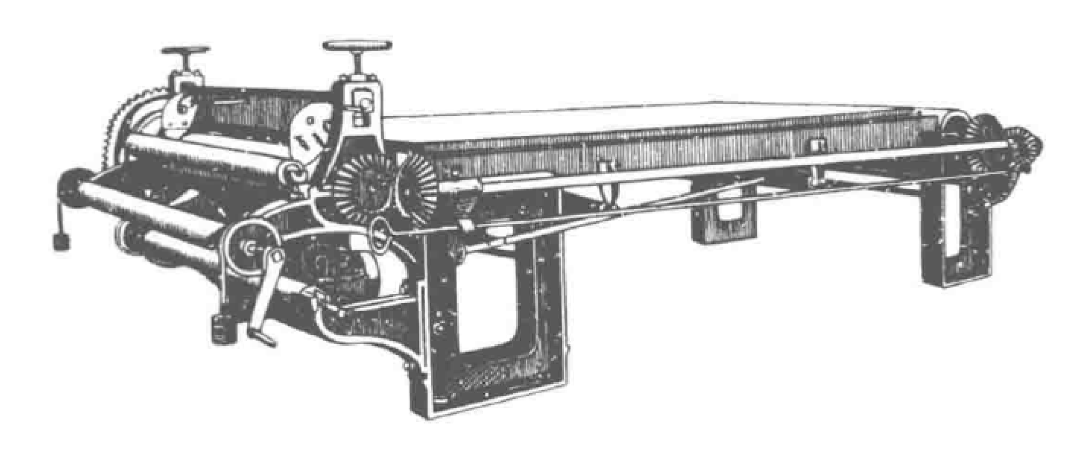


图 407　配备进布辊、收布辊、涂胶刀和蒸汽加热干燥台的涂胶机。

31.11 压延机

接下来的重大进步是在1836年采用的压延工艺，主要目的是将橡胶制成薄片，这是生产多种产品的基本材料。

大约在1830年，美国开始生产橡胶，用于制作胶鞋。最早的压延机由橡胶工业先驱之一、罗克斯伯里橡胶公司的查菲(E. M. Chaffee)发明，并在1836年获得专利，他的目标是制作橡胶片时不使用任何溶剂。

因体积庞大有“猛犸”之称的这种压延机由三个重型钢滚筒构成，这些滚筒一个接一个地垂直安装在一个坚固铁架上。滚筒间距可以调节，还装有控制各滚筒转动方向和相对速度的齿轮。滚筒的中央空腔可充蒸汽或水，用以调节温度。

生产平板橡胶片时，将加热软化后的混炼胶放入压延机上方转速相同的两个滚筒间。混炼胶在那里被压成薄片，并绕经中位滚筒卷到下位滚筒下方。为防止薄片之间黏结，从下位滚筒输出的薄片覆上包装布后再卷在一个木制滚筒上，等待进一步加工。

对这一工艺稍作改进，这种压延机还可用于擦胶。此时，下位滚筒与中位滚筒以不同的转速旋转，当长片织物送入下位滚筒与载有橡胶薄片的中位滚筒之间，由于压力和转速不同的两个滚筒的共同作用，织物与橡胶薄片紧密地粘成一体，形成一个牢固黏合的薄片。

查菲发明的机器是现代压延机的原型，是橡胶生产中最重要的设备之一，当今的世界各国都在使用。在英国保存的最早的样机之一是莫尔顿(Stephen Moulton)在1849年根据美国的图纸安装的，至今仍在威尔特郡埃文河畔的布拉德福德运转着(图版5)。

31.12 挤压成型工艺

制造胶管、胶线、电缆护套等粗细一致的带状橡胶物品，通常运用挤压成型工艺。在这项工艺中，塑性橡胶被强行从孔口或模口压出

（图 408、图 415）。

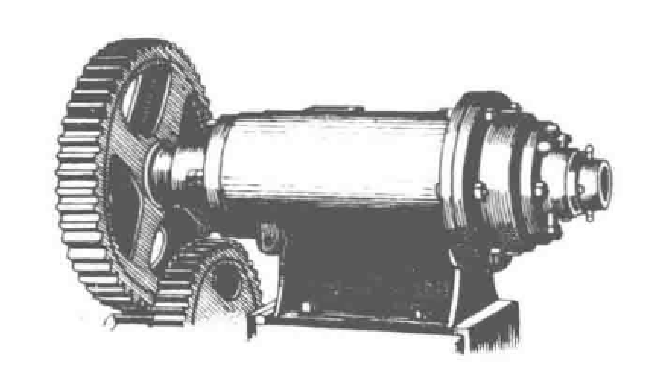


图 408 马格德堡的克虏伯（Krupp）有限责任公司设计的制作管材用的挤压机。高强度的钢圆筒内装有一个旋转螺旋，将橡胶通过定型的孔口或管嘴压出。

1845 年，比利（H. Bewley）在其专利申请中描述的是一种最早用于挤压成型的机械装置，用来改进像内胎和胶管一类的产品。这类产品不用橡胶，用的是与橡胶相近的古塔波胶（gutta-percha），它与橡胶相似，但树脂含量较多。将塑性状态的古塔波胶放入圆筒，圆筒中的活塞将古塔波胶压向一个加热的圆盘。圆盘上有许多孔，古塔波胶穿过孔后被挤入杯内，又从这里压出，绕在一个内芯外，形成所需形状的管子，而后落进盛有冷水的容器中。

在后来由肖（Shaw）、罗伊尔（Royle）及其他人设计的用于橡胶工业的挤压机中，活塞被一根位于中心由动力驱动的紧靠圆筒壁的蜗杆轴所取代。蜗杆轴将胶泥引向圆筒的前部，通过一处所需形状的热模口压出，压出的带或管被送入盛有滑石粉的盘中，或送到传送带上去进一步加工。

到 1838 年，英国的橡胶产品生产已颇具规模，雨衣、用于酿酒业或消防车的软管、印刷机用的胶版、弹性织物、床用气垫、气枕以及许多其他用品的产量都很可观。此外还生产胶鞋，其中大部分由外来制造商生产，他们的原料购自汉考克或麦金托什。由于外科器材生产对橡胶也有很大的需求，汉考克便在英国富勒姆开设了一家工厂，利用他的兄弟托马斯提供的橡胶切片制作外科器材。他还对胶乳广为试验，但由于很难获得理想的胶乳，试验难以为继。在将橡胶制造引入欧洲大陆的过程中，汉考克也起了很大的作用。1828 年，他在巴黎的拉蒂埃和吉巴尔的工厂中亲自出席了新工艺的启用仪式。

765

到这时，橡胶生产的大部分标准工艺已经得到采用。汉考克发明

了塑炼机和涂胶机，并研制出掺和剂和模压工艺。制备橡胶切片及胶丝的工艺业已确定，弹性织物的制作成为许多专利的主题。我们现在了解的压延机是当时由查菲在美国发明的，几年以后比利又获得了生产胶管的挤压机的专利。

值得指出的是，这些巨大的进步几乎全都出现在硫化工艺发明之前，而硫化工艺是橡胶工业发展史上的第二个里程碑。

31.13 硫化的发现

“硫化”用来表示当橡胶与硫混炼以及这种混炼胶加热时所发生的变化。硫化基本上属化学反应，但伴有极度的物理变化，经过“硫化处理”后的橡胶变得不易被溶剂溶解，也不易受温度变化的影响。

人们早就认识到，生胶若长时间置于低温下会慢慢变硬并失去弹性，而且生胶经机械加工或使用松节油等溶剂软化后，易受热、强日光及其他因素的不利影响，变软、变黏。

在英国，人们把这一切看成是这种材料的天然缺陷，将其应用限定在适宜使用橡胶的范围。因此在某些情况下——例如制作双层胶布和弹性绷带时，人们将橡胶包在织物内，避免或减少一些不希望的后果出现。但是，美国在橡胶工业发展的初期，没有考虑这些弊端就开始进行生产，结果很快陷入困境。1835年，大部分投放市场的橡胶产品在冬天变硬，失去弹性，而在炎热的夏天又分解变质。结局是灾难性的，许多公司被迫倒闭，美国橡胶工业的声誉一落千丈，直到许多年后才得以恢复。正是在这个橡胶工业发展的危难时期，以前做五金生意的费城商人古德伊尔（Charles Goodyear，1800—1860）对橡胶制作产生了兴趣，决心投身于研究，克服并防止橡胶加工后逐渐变硬变质的缺憾。不过这并非易事，因为这些缺点显然是橡胶本身固有的特性。

古德伊尔遇到了来自经济上与个人方面的许多困难。后来，他决

定试验热对橡胶、硫和铅白混合物的影响[9]。在一次试验中，样品意外地受到过热，结果被烧焦却没有熔化。他在明火下重复这个试验，中心部分又一次出现烧焦现象，但沿边缘的区域非但没有烧焦而且硫化得很好。进一步的试验表明，这样得到的新物质在寒冷的冬天里不会变硬，在炎热的夏天里也不会软化，同时能耐受溶解天然胶的溶剂。就这样，他终于达到了长期以来研究的目的。

从纽约的橡胶厂商赖德（William Rider）那里，古德伊尔得到了经济上的资助以及其他方面的支持，继续进行试验。1841年，他成功地制出质地均匀、有弹性的长胶片，方法是让长胶片通过一个加热的铸铁槽。这是硫化作为生产工艺第一次获得成功的操作。

1841年12月6日，古德伊尔按照原先的计划拟订了一份技术规范，作为发明申请而不是一般的专利申请存放在美国专利局。他直到1844年才提出申请英国专利，延迟申请主要出自经济原因。

美国当时的舆论仍对橡胶存有戒心，因而古德伊尔急于说服国外的橡胶厂商对自己的发明产生兴趣。为此，他向当时住在美国的英国人莫尔顿（Stephen Moulton，边码764）寻求帮助，后者将赴英国访问。古德伊尔请莫尔顿把“改良橡胶”的样品带去，并介绍给有关厂商，特别是麦金托什公司，旨在出售他的橡胶生产工艺。

767

1842年8月，莫尔顿到达英国并拜访了麦金托什公司，商讨了古德伊尔的建议，并且留下改良橡胶的样品。不过，因为他不可能公开生产工艺，所以双方没有达成购买协议。麦金托什公司合理地建议古德伊尔应当取得专利权，以便他们能对这一工艺作出更好的判断。

出于下述缘故，人们对莫尔顿留下的样品产生了极大的兴趣。麦金托什公司生产的是双层防水胶布，已在一定程度上克服了未经硫化的橡胶易于变硬和变质的缺点。然而，大约到1842年，人们开始希望生产较轻的单层雨衣，由于暴露的橡胶表面有黏性，遇冷时橡胶又

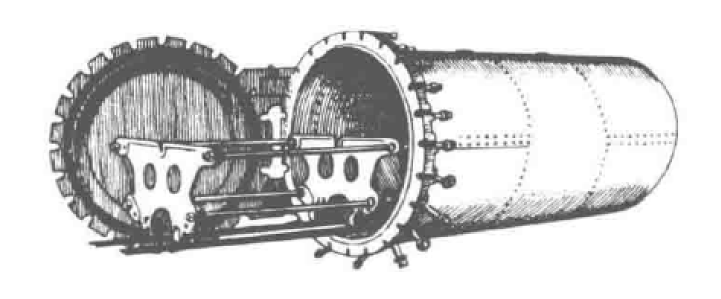


图 409 直接通入蒸汽的"无机硫化"硫化器。它由用蒸汽做内部加热的圆筒和可承载各种产品在轨道上移动的金属架构成。圆筒门用螺栓紧固。

会变硬，这样问题就产生了长期以来，人们总想谋求一种方法来克服橡胶的天然缺陷，汉考克早在20多年前曾就防止橡胶受寒变硬做过许多尝试，但都没有成功。

古德伊尔的一些样品被送到汉考克那里，他发现其中一块样品的表面有一些灰蒙蒙的粉末。这块橡胶还有轻度硫黄气味，汉考克当时认为橡胶中掺入的硫黄粉有误导之嫌。后来，他发现这些样品确实像介绍时所说的那样不受寒冷影响，用他自己的话说，"现在发现这种产品有点意思……我开始认真地研究，可能的话，就攻克它，不能让别人赶在前头"。

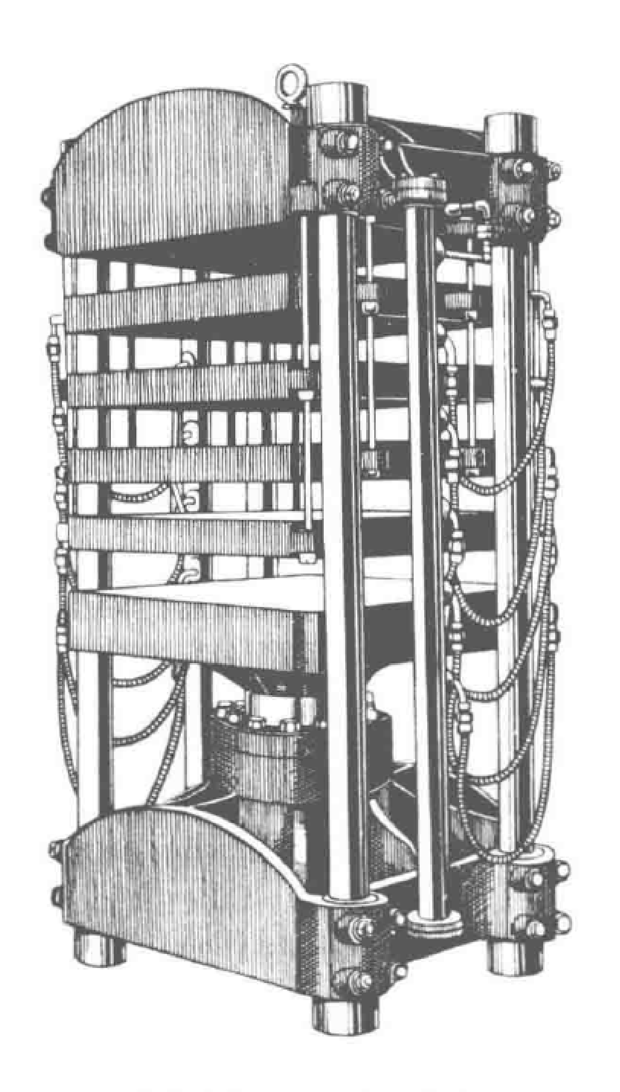


图 410 卡斯尔顿戴维·布里奇公司（David Bridge & Company）制作的液压平板硫化机。待硫化产品被装在位于蒸汽加热板之间的精确定型的钢模中。液压由柱塞来维持。

汉考克后来谈道："布罗克登（Brockedon）先生（莫尔顿的引荐人）给我的这些橡胶小片确实第一次向我表明，橡胶已达到遇冷不变硬的理想状态，但这种变化是如何发生的，依然毫无头绪……我没有对这些橡胶小片作分析，也没有直接或间接地获得任何分析数据……我只是把这些样品当作橡胶遇冷不变硬的证据……我对这些小样品的认识，

与任何能看到和闻到它们的人并无二致。”

汉考克讲述了他当时是如何在自己的实验室里从事研究的。他常常工作到深夜，时而将橡胶混合物置于溶液中，时而加热软化。他试过无数种与橡胶混合的物质，包括单质硫和溶解在不同温度松节油中的硫。

768

汉考克终于发现，将硫放入 240℉的铁容器中溶化，浸入切成带状的橡胶片，橡胶首先吸收硫，在温度升高和接触时间延长的整个过程中，橡胶的变化都非常理想[10]。他申请了这一工艺的专利，并在1843 年 11 月 21 日获得了临时专利，这比古德伊尔 1844 年 1 月 30 日迟误的申请早了约 2 个月。自那时起，美国的公司根据古德伊尔的专利许可生产硫化橡胶，而在英国的大多数公司按照英国专利持有者汉考克或麦金托什公司的专利许可生产硫化橡胶。

在普通的硫化工艺中，硫以很细的形态和其他配料——氧化铝、氧化锌以及各种颜料一起加入橡胶，并在混炼机内混合。充分混合后，

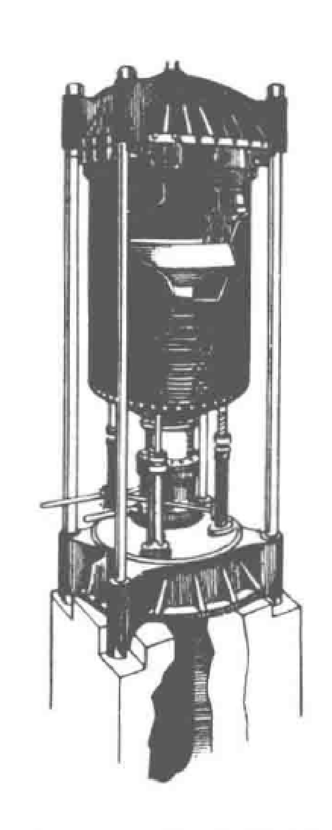


图 411　20 世纪初用于硫化轮胎的立式外胎硫化罐。装有空气囊的轮胎被放入空心的钢模中。钢模一个摞一个地放在硫化罐内的栓塞台上。将硫化罐密闭，通入蒸汽。液压由柱塞来维持。

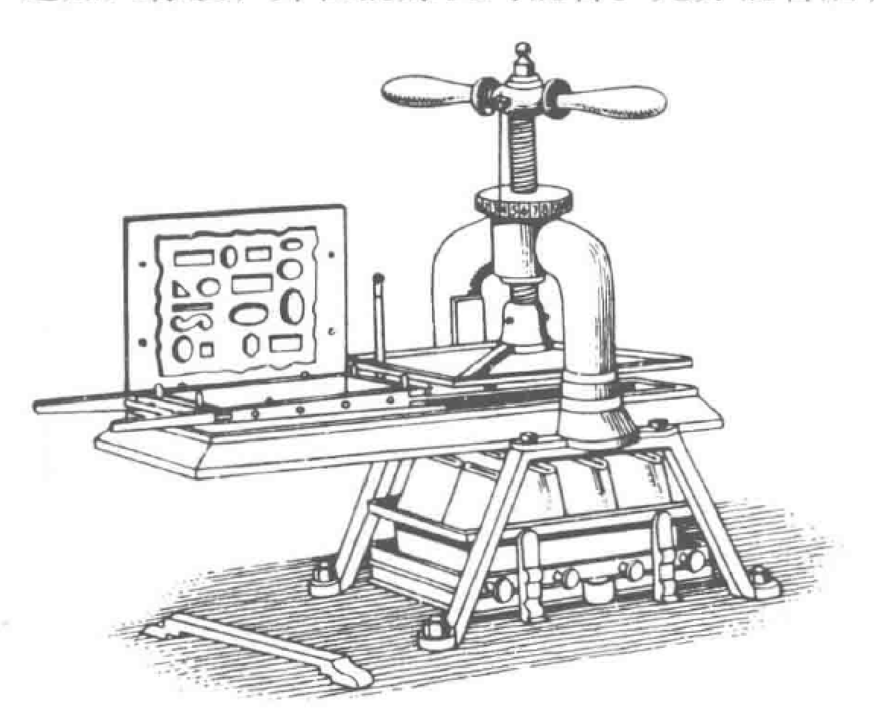


图 412　用石油加热的模压机，用于硫化小块橡胶物品。

将混炼胶压成片，冷却后再切成与要制作的产品大致相同的形状，放入金属铸模中加热。加热是在能直接通入蒸汽的筒状加热器中进行的（图 409），也可将铸模放入直立式平板硬化机的蒸汽加热板之间进行加热（图 410、图 411）。蒸汽的热量传递给铸模，再由铸模传给橡胶。这时橡胶发生变化，转变成一种弹性持久的固体产品。早期的一些硫化器还采用其他热源，图 412 所示的硫化器是用石油加热的。

31.14 其他硫化法

两年之后的 1846 年，帕克斯（Alexander Parkes，1813—1890）发现一个有趣的现象，将细橡胶带浸入用石脑油或二硫化碳制成的氯化硫稀溶液中，橡胶带会迅速硫化。这种被称为“冷硫化”的工艺，只适用于硫化较薄的橡胶产品或薄橡胶片。不久，冷硫化法被用于生产单层胶布雨衣，并在伯明翰建起了一家生产这种产品的工厂。后来，麦金托什公司买下了这项专利，生产中心转移到曼彻斯特。

人们还发现这种硫化方法与浸渍法合用的话，可用于生产玩具气球、橡胶奶嘴、无缝橡胶手套等。1878 年，阿博特（W.Abbott）提出一种改进的硫化法，使用氯化硫蒸气代替过去使用的氯化硫溶液。这种方法有时被称为“蒸汽硫化”（vapour cure）。

莫尔顿在 1847 年获得的专利实际上是热硫化法的改良。在这种方法中，亚硫酸铅代替硫作为硫化剂，主要用于生产防水斗篷及类似物品。

生逢其时的硫化工艺对橡胶工业起了很大的促进作用。由于各种原因，笨重的防水斗篷的销售量迅速下降。生胶在机械应用方面的许多不适合限制了它在这方面的应用，对气候条件的过于敏感也妨碍了它的广泛使用。

硫化处理产生的性能上的根本变化，消除了橡胶的大部分弱点，极大地扩充了它进一步发展的领域。不久，硫化橡胶的产品开始出现

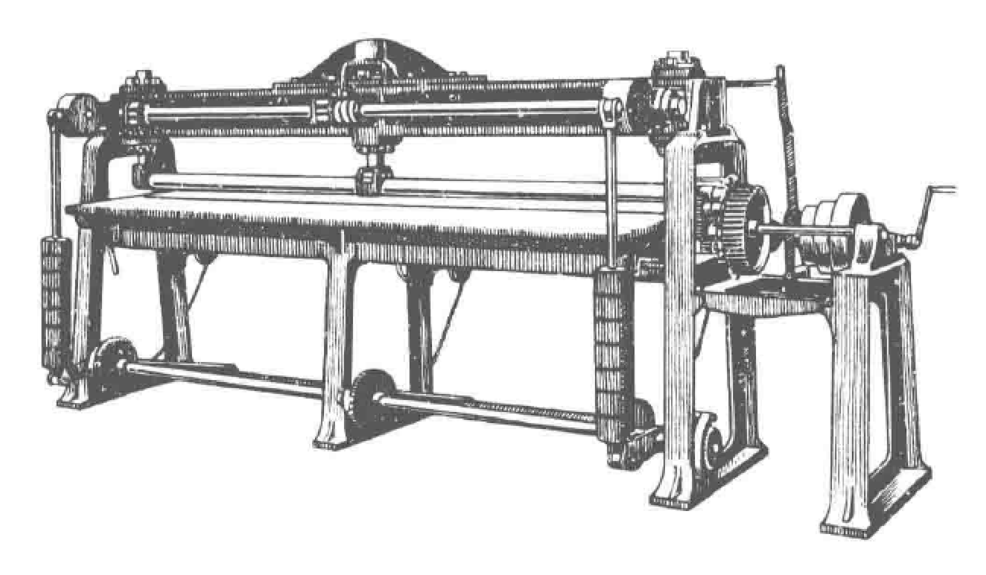


图 413　胶管成型机。将由数层胶布围绕内层衬胶构成的胶管套在金属芯轴上，再把它放在工作台上，由加重圆辊滚压，使各层压实黏固。

在市场上。这种新材料吸引了发明家和那些打算获取各种产品专利的人的注意，而那些产品多半是由麦金托什或汉考克制造的。

770

直到 1840 年前后，由于麦金托什的专利保护和汉考克的生产工艺保密，英国的橡胶工业大都为独家垄断。然而，几乎在同一时期，其他几家公司也进入橡胶生产领域。此后的 25 年是橡胶工业的快速发展期，现今在橡胶工业界享有盛名的许多公司大都在这个活跃时期创办。在 1858 年汉考克的专利期满之前，大部分硫化橡胶在得到许可的情况下被生产出来。但专利期满以后，这种生产工艺可被无附加条件地使用，于是生产厂商迅速增加，一些厂商生产防水胶布，另一些厂商生产胶鞋，还有一些厂商生产其他类型的鞋。后来，许多厂商专营更为有限的品种。此时，机械工业也处于蓬勃发展阶段，对机械上应用的各种橡胶产品，例如阀门、蒸汽管接头衬垫、传送装置及动力传动的橡皮带和各种型号胶管（参见图 413）的需求量相当大。

31.15　橡胶应用的扩展

早期橡胶工业扩展的概念能从英国进口生橡胶的统计数据中看出来（参见边码 773）：

1830 年	23 吨	1874 年	6458 吨
1840 年	332 吨	1888 年	11018 吨
1857 年	1100 吨	1897 年	19816 吨

橡胶生产的趋势主要受在其不同发展阶段占优势的社会状况的影响。在铁路出现前，橡胶主要用于制作雨衣、胶鞋等防雨用品。随着运输方式的改善，人们将注意力转向公路和铁路车辆的消震和减震装置。电力工业的发展则为橡胶在电缆绝缘方面开辟了新的应用领域（图 414、图 415）。

771

早在 1826 年，莱西（H. C. Lacy）就获得了用方块橡胶代替钢弹簧用在避震马车上的专利。1845 年，富勒（Fuller）将硫化橡胶用于铁路客车的减震垫和端面，减小震动产生的影响。后来，贝尔格（Charles de Bergue）将硫化橡胶放在金属板之间用作减震及增加附着力的装置。1852 年，斯潘塞（George Spencer）获得橡胶铁路弹簧的首项专利，为以后延续多年的一系列发明和橡胶发展开了一个头。

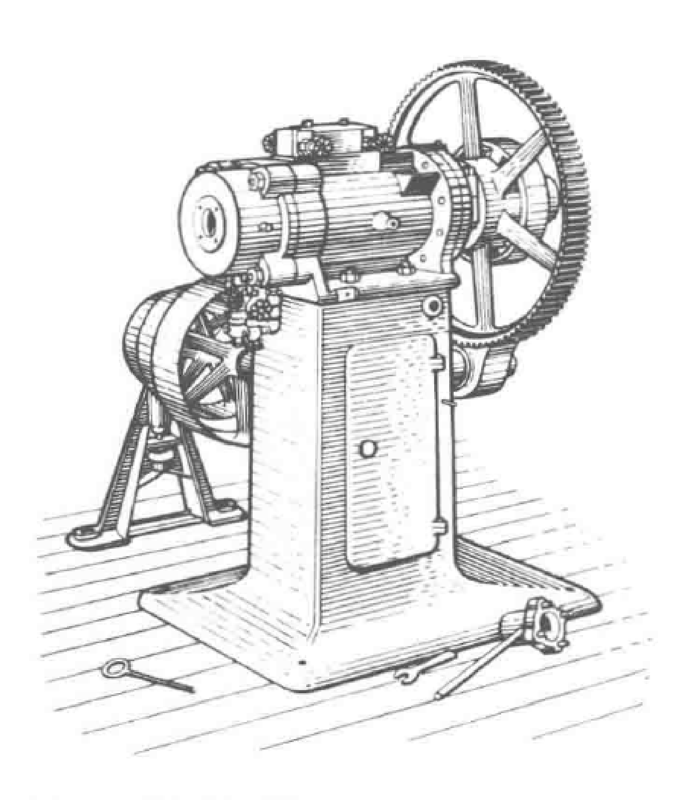


图 414 将橡胶从模孔压出，制成棒材、管材或电缆绝缘材料的挤压机。

然而，运输领域中最引人瞩目的发展是车辆用的橡胶轮胎。从此，大规模的轮胎工业成长了起来，现今它消耗的生胶约占世界总产量的 75%。不过，最早出现的实心轮胎似乎并没有人抢注专利。汉考克在描述自己公司于 1846 年生产的轮胎[11]时说，其宽约为 1.5 英寸，厚约为 1.25 英寸。硫化橡胶牢牢地固定在金属环或轮箍上，也可将一个环形胶带绷在普通的车轮上，

依靠车轮两侧的轮缘将其固定。从轮缘中凸起的胶带直接与地面接触，从而减少了硬质车轮通常会产生的震动。大约自1870年起，自行车专用的实心轮胎开始盛行（边码418），并持续了20多年。

1845年，汤姆森（R. W. Thomson，1822—1873）取得首项充气轮胎专利（英国专利10990号）。人们这样描述汤姆森的发明："用天然橡胶或古塔波胶做成空心带，里面充足气，便成为在地面或轨道上行驶的气垫。"

772

充气轮胎由几层浸透橡胶溶液并硫化的帆布制成，外面包上皮革以增加强度及耐磨性，皮革用铆钉紧固在车轮上，轮胎用打气筒或"空气压缩器"充气。安装这种充气轮胎或叫"空气轮"的马车曾在海德公园试跑过，据说其中一辆马车成功地行驶了1200英里。然而，这个设想走在了时代的前面，充气轮胎并未取得商业上的成功，它消失在人们的记忆中近50年。

1888年，贝尔法斯特的兽医邓洛普（John Boyd Dunlop，1840—1921）想要为10岁的儿子改装一辆自行车。他反复思考如何用压缩空气的气垫代替实心轮胎以减少震动，最终他的充气自行车轮胎（英国专利10607号）包含一个全橡胶制的内胎，包上帆布套，外面用加厚的橡胶带加以保护，充作行驶面。从帆布套伸出的边将轮胎固定在车轮的轮圈上，并用溶胶黏合起来。这种充气轮胎的首次试验取得了良好效果，接着在公路和跑道上的试验也一举成功，并得到公众认可。

后来，人们在外胎设计方面做了改进。韦尔奇（Welch）和巴特利特（Bartlett）分别发明了外胎固定在轮圈上的新方法，前者采用钢丝加固的轮胎和呈曲面的轮圈，后者使用了大家熟悉的带卷边的"嵌入式"轮胎。在短短的几年中，几乎英国的每一辆自行车都装上了充气轮胎[12]。

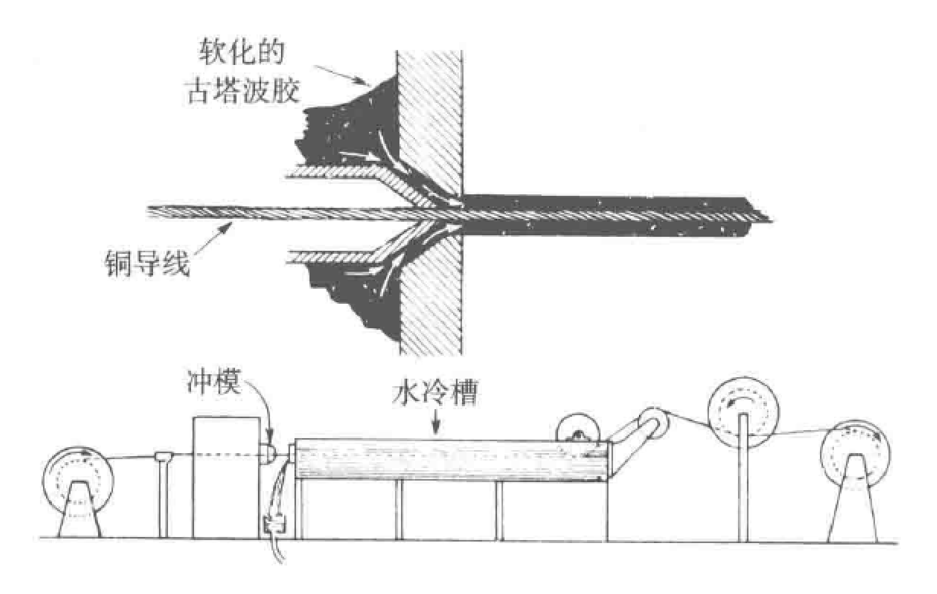


图 415　采用挤压工艺将橡胶或古塔波胶作为绝缘材料包在电缆外。

31.16　汽车轮胎

几年之后，自行车胎的充气原理用到了机动车车轮上。刚开始时，773 只是增加帆布层数与胎面的厚度。首先投入使用的是嵌入式卷边轮圈。将充气轮胎首次用于汽车的是安德烈（André）和米什林（Edouard Michelin），他们在 1895 年波尔多—巴黎汽车赛上开始使用充气轮胎。1900 年，邓洛普公司生产出第一批汽车轮胎。起初帆布层使用的是平织布，后来改用帘布。由于使用了科学的配料方法，外胎强度和耐磨性能提高了很多。自从汽车运输出现以来，橡胶工业中的轮胎行业取得了巨大进展，目前它所消耗的橡胶量超过了其他各行业的总和。

然而，如果没有橡胶种植业的及时发展，要满足由于轮胎工业迅速成长导致对生胶需求量的巨大增长，虽然不是不可能，但将面临极大的困难。

31.17　橡胶种植业的发展

1840 年，英国进口的生胶大部分源自南美洲和中美洲的森林地区。1840—1850 年，英、美两国迅速发展的橡胶工业对原材料的需求量日益增长，促使人们不仅在美洲，而且远赴远东、印度、马来西

亚和爪哇，后来又到非洲森林地区寻找产品原料。直到19世纪末期，这些“野生”或森林橡胶一直是生产厂商原料的主要来源。

从各种产胶植物采集的不同品种的野生橡胶，在成分、外观和杂质含量等方面各不相同。几乎在所有情况下，生产前的洗胶都是必不可少的。随着橡胶原料需求量的迅速增长，同时由于易于采集地区的资源耗竭以及毁灭性的割胶方法，森林来源的橡胶原料供应越来越难以维持。所幸的是，为源源不断地获得品质接近的替代原料，人们预先采取了若干措施。

早在1855年，就有人建议是否可在东印度群岛和西印度群岛种植最好品种的橡胶树，但直到1870年，官方才尝试在英国管辖区域内种植橡胶树。最先行动的显然是英属印度[13]，助理国务大臣马卡姆（Sir Clements Markham，1830—1916）曾成功地将金鸡纳树引种到印度。首先采取的措施是收集最适宜在英属印度种植的橡胶树的相关资料，资料收齐后一度曾决定优先考虑当地土生土长的树种，但基于三叶胶和其他南美橡胶树所产橡胶的优良品质，最终决定尽快引进这些树种。

774

1873年，印度政府购进了2000颗三叶橡胶树种子，在丘园培育出树苗后运往加尔各答。然而，当地的气候不适宜栽培，树苗未能成活。后来，著名的植物学家克罗斯（Robert Cross）被派往帕拉采集野生树苗。他带回来1080棵树苗，其中存活了3%。人们用插枝法繁殖树，然后运往锡兰、新加坡及爪哇等地。

与此同时，丘园经理胡克爵士（Sir Joseph Hooker）对橡胶种植业极感兴趣，他委托当时住在亚马孙河圣塔伦的英国种植园主威克姆（H. A. Wickham）（后来的亨利爵士），以每1000颗10英镑的价钱收购三叶橡胶树种子。威克姆亲临塔帕若斯河与马德拉河交界的高原森林地区，从正在割胶的树上采集种子。这些种子被立即装船运出，在1876年6月14日到达丘园，第二天便播种下去。在采集的7万颗种

子中，约有2700颗发了芽。第二年8月，约有2000棵树苗运到锡兰进行培植，然后分送到各地种植，大约90%的树苗安全运抵。一些树苗被运到新加坡和国外其他地方。

对于一项极有价值的事业来说，大约为1500英镑的全部引进费用并不算多。从种植这些树苗开始，大规模的橡胶种植业发展起来。目前，马来西亚、锡兰、东印度群岛供应全世界生胶需要量的90%以上。然而，引进橡胶树种仅仅是发展橡胶种植的开始，接下来要做的大量工作包括平整土地、清除杂草、种植和栽培橡胶树、采用适宜的割胶和凝胶方法，以及生胶干燥和投放市场前的准备等。在橡胶种植业的发展中，锡兰、马来西亚农业部和植物园的工作人员赢得了荣誉，是他们种植和照料了最早的橡胶树，并将橡胶树从这里分送到各地，也是他们在这里进行了割胶试验。大约在1889年，里德利（H. N. Ridley）发现了“胶树伤害反应”（wound response）现象。当人们在树皮上割出第一个斜切口时，往往流不出多少胶乳。但如果在一段时间内维持原状，然后在原切口上再刮掉一层树皮，便会有较多的胶乳流出。这样的切割每隔一段时间可重复进行，比如每隔一天割一次。树皮的再生是很慢的，这样处理就可在树皮损伤不大的情况下定期地获得胶乳。从胶乳生产上看，这一发现极具经济价值。

775

橡胶种植业的建立不是一朝一夕可以完成的，要说服种植园主用毫无种植经验可言但具预期利益的橡胶树来代替他们业已熟悉的作物需要时间。然而，日益增长的橡胶需求量以及橡胶种植的高额利润起了必要的刺激作用。到1900年，已有大批种植橡胶出口。

相关文献

[1] Jones, F. "Early History to 1826" in 'History of the Rubber Industry' (ed. by P. Schidrowitz and T. R. Dawson), p. 2. Heffer, Cambridge, for the Institution of the Rubber Industry. 1952.

[2] Chapel, E. 'Caoutchouc et la Gutta Percha', pp. 8–12. Paris. 1892.

[3] Grossart, C. *Ann. Chim.* (*Phys.*), 11, 143–55,1791.

[4] Hancock, T. 'Personal Narrative of the Origin and Progress of the Caoutchouc or India-Rubber Manufacture in England', p. 13. London. 1857.

[5] *Idem. Ibid.*, p.17.

[6] *Idem. Ibid.*, p. 70.

[7] *Idem. Ibid.*, p. 20.

[8] *Idem. Ibid.*, p. 224.

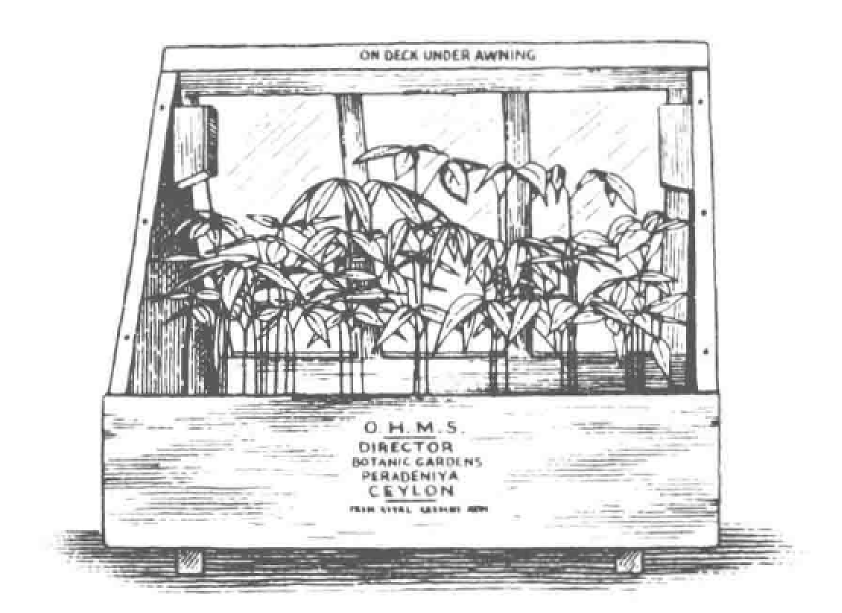
[9] Goodyear, C. 'Gum Elastic and its Varieties, with Detailed Account of its Applications and Uses, and of the Discovery of Vulcanisation', pp.119–27. New Haven. 1855.

[10] Hancock, T. See ref.［4］, p. 103.

[11] *Idem. Ibid.*, pp. 115, 170.

[12] Lambourn, L. J. and Perret, A. G. "Tyres." See ref.［1］, p. 216.

[13] Porritt, B. D. 'The Early History of the Rubber Industry.' McLaren, London. 1926. (Reprint from *India Rubb. J.*, 71, 404, 444, 483, 1926.)



38 个沃德箱将 2000 株三叶橡胶树苗从丘园运往锡兰，从而开创了三叶橡胶树在远东种植的基业。图中显示的是其中一个沃德箱。



第8编

20世纪的门槛

第 32 章 技术时代的教育

埃里克·阿什比爵士（SIR ERIC ASHBY）

怀特海（A. N. Whitehead）曾指出："19 世纪最大的发明是关于发明方法的发明。" 19 世纪，商人取代了手工艺人，应用科学家取代了发明家。伴随着这种变化，教育开始影响工业。如今，教育已成为技术进步（technological progress）的"起搏器"。但是，教育能有这样的影响，并不是在短期内或者很轻易就实现的。科学必须突破层层阻力进入中小学和大学的讲坛，而中小学和大学又必须争取在工厂和车间发挥作用。为确立教育成为工业中的一个重要组成部分，曾经历过一场长期的斗争。本章的目的就是描述这一斗争，特别把重点放在 1851 年举办万国博览会和 1902 年颁布《教育法》（*Education Act*）之间那些关键性年代里英国的科技教育（technical and scientific education）上。

776

32.1 英国在 1851 年以前的技术教育状况

1841 年，在英格兰和威尔士结婚的 33% 的男人和 49% 的女人，只需在结婚登记表上画个押[1]。即便那些上过学的人，所学的科学也甚少或根本没有。1836 年，数学才进入什鲁斯伯里。1837 年，在拉格比有了物理课。在 18 世纪非国教派（dissenting academies）的鼓励下，为数不多的几所学校开设了相对具有启蒙作用的课程，不过绝大多数学校因袭了上一个世纪约翰逊（Samuel Johnson）在利

奇菲尔德开设的课，实际上与两个世纪前弥尔顿（John Milton）在伦敦开设的课没多大区别。学校为上层阶级、商人和专家的后裔开设了很多课程，包括拉丁文法、翻译、作文、少许希腊语和问答教学课。至于工人阶级，在1833年估计只有80万人上过学，但那不过是一些由年长妇女开办的只教读写的家庭小学，或每周付1便士或2便士学费的教会学校[2]。1833年通过的《工厂法》（*Factory Act*）规定，9—13岁的少年必须持有一张证明他们在前一周的6天中每天上了两小时的学的证书才能被雇用．这个规定仅仅适用于纺织厂，而且还不是普遍都这么要求。

777

值得注意的是，如此贫瘠的土壤上却会孕育一次英国历史上伟大的教育运动——建立技工学校（mechanics' institutes）。它们出现在19世纪20年代，历经变迁仍保存了下来，一直到1889年颁布了《技术教育法》（*Technical Instruction Act*）。时至今日，仍有至少34个工人俱乐部和图书馆是直接从1851年前建立的技工学校派生出来的。技工学校史学家凯利（Kelly）[3]描述了这类学校在忽好忽坏的经济波动中的起伏不定。当就业情况好时，它们兴旺发达。在经济萧条的年代，政治学明显比自然科学更重要时，它们就失去了活力，因为技工学校的方针是不去探讨一些容易引起争论的有关政治或经济的问题，他们担心的是别与工会主义者或宪章运动者掺和在一起。采取这种方针并不奇怪，因为大多数（虽然不是全部）技工学校都是由富裕的制造商或商人积极主动创办的。例如，格拉斯哥瓦斯工人技校是一名叫尼尔森（James Neilson）的经理在1821年创办的（第Ⅳ卷，边码109），学校成员每星期付1.5便士，一周聚会两次，与会成员轮流拟稿发言，或者根据默里（Murray）的《化学》（*Chemistry*）或弗格森（Ferguson）的《力学》（*Mechanics*）上课。其他一些学校开始时的授课形式更为民主，基斯利的一个细木工人、一个裁缝、一个油漆工和一个簧乐器工匠组成了互教互学的学校，并为此建立起一个图

书馆。当一群工人在一个阁楼上聚会时，一所学校便在斯泰利布里奇诞生了。

可以想象得出这些早期集会上人们激昂的情绪。经理着眼于提高生产力，希望工人阶级中能出现另一个阿克赖特（Arkwright）或者布林德利（Brindley）。工人们（如果是现在，他们中间必然有许多人已在文法学校学习了）模糊地意识到知识本身是有价值的，而且还可能为个人的晋升打开一扇门。1827年，海伍德（Benjamin Heywood）在曼彻斯特技术学校（章末补白图）的一次讲演的结尾时说：

……学校的目标是，教会工人（干什么就学什么）掌握那些他们在工作中会用到的科学原理；让他们了解这些科学原理实际的应用，以及怎样学以致用；使他们能全面地了解自己的工作，并有能力对工作进行改进；教会他们如何在社会中提升自己，使业余生活过得既体面又愉快。[4]

这种热情没能持续多久，到1830年，技工学校就陷入了困境。经济上的萧条使经理们爱发牢骚，工人们感到沮丧。托利党人谴责这类学校是激进主义的温床（一位评论家曾撰文指责道："我宁愿看到我的仆人死于酗酒，也不愿看到他们进技工学校。"），激进党派的成员则斥责这些学校实行家长式统治，目的是剥削工人。技工学校衰败的更主要的原因是缺少作为技术教育基础的初级教育，以及学校里的授课内容很少与工人每天的工作相关。大约40年以后（1868年），诺丁汉商会主席在科学教育工作特别委员会成立前明确指出：

778

在诺丁汉的一些大工厂里，雇工中有将近50%的人不具备阅读一段十分简单的文章的能力……在一些蕾丝织品工厂、针织品工厂、

漂白工厂、染色工厂、制砖厂……人们根本不能阅读。我们两个最大的制砖商回答说，在所有的雇工中，只有12个人能够阅读，而且他们都是工头的儿子。[5]

不过，技工学校运动又复兴了。到1841年，在200多所学校里有大约5万名学员。但是，它们的性质改变了，科普(popular science)、音乐甚至还有麦斯麦术(mesmerism)和腹语术(ventriloquism)取代了按不同行业的科学原理进行的系统教育。许多学校变成了工人俱乐部，专用于单纯的娱乐而不是教育。当然，也有许多例外[3]。例如，在斯陶尔布里奇的学校图书馆一年里分发了3900册书，在曼彻斯特则有1000多名学生进夜校学习，开设的学科有算术、代数、几何、语法和绘画。1835年，利物浦技工学校为男孩子办了一个日校，后来成了历史悠久的名校。即使是最初的一些目标也没被忘记，科学教育特别委员会在1868年接受了一个设有16课时的染料化学的教学大纲，实际工作由德斯菲尔德技术学校安排[5]。手工业工人的学费是5先令，其他人是15先令。不过，更有意思的是，1856年有一份5000名工人签名的请愿书被送到教育委员会，这些工人来自伦敦技工学校和其他一些类似的团体，请求政府对技工学校给予财政上的资助[5]。

当英国度过19世纪40年代经济萧条时期，步入1851年万国博览会的辉煌年代时，技工学校重新蓬勃发展，当时一个城镇至少有一个这样的学校。在约克郡的几所学校联合成一个协会，拥有100个分会和2万名会员，协会秘书霍尔(James Hole)[6]在一篇著名的、受到

779

(皇家)艺术学会［(Royal) Society of Arts］嘉奖的短论中建议，这些学校应当成为一个全国性工业大学的分院。艺术学会对这次运动给予了很大的支持，并在1852年召集各技工学校协会，共商振兴技术教育的问题，还组织考试，授予毕业文凭，而且第一次对夜校给予物质

奖励。这些正是学校所需要的，但是还不够，因为经理们还不相信工业生产需要那些经过技术训练的人，更不要说需要那些掌握一些科学知识的人了。一些拿到艺术学会毕业证书的人找到了他们的技术工作岗位，但是大多数是作为文员被雇用的[7]。

对技工学校的历史应如何评价？不足之处是它们不能满足英国大众技术教育的需要，也不能对英国工业产生立竿见影的影响。产生这些不足的原因是学校所不能控制的，不能指望进一步的教育能扎根在实际上没有初级教育的地方，也不能期望许多手工业工人在工厂从上午6点工作到下午7点以后，还能坚持晚间的学习，除非雇主认可并提供奖金。[布思（James Booth）是一位艺术学会的牧师，在19世纪50年代，曾经领导过一次轰轰烈烈的运动，试图说服制造商支持学校里的技术教育，但制造商们对此几乎没什么反应。] 另一方面，技术学校也有许多值得称道的地方，学校培养的一些学生已走上成才之路，例如扬（James Young，1811—1883）先在格拉斯哥的安德森学校学习，后来成为石油工业之父。在英国兰开夏郡、柴郡和约克郡创办的工会，走出了技术教育体制化的第一步。它们和艺术学会合作，第一次在全国举行了夜校生的技术资格考试。19世纪下半叶，这些夜校似乎已销声匿迹了，这是因为它已融入全国技术教育系统，而这正是创建者梦寐以求的。科学和艺术部（Department of Science and Art）的考试（边码782）和1889年的《技术教育法》，以及基于此法令的所有地方当局的技术教育，例如格拉斯哥的皇家技术学院、爱丁堡的赫里奥特-瓦特学院、哈德斯菲尔德技术学院、曼彻斯特技术学院，都受到技术学校运动的影响。

到1851年，中学和技工学校对英国的技术没产生什么影响。大学对技术的影响就更微乎其微了，牛津大学和剑桥大学还恪守着中世纪的教条。汉密尔顿爵士（Sir William Hamilton）撰文在《爱丁堡评论》（*Edinburgh Review*）对两所大学陈旧的课程进行了猛烈的抨击[8]，但是

780

直到19世纪50年代，继两任皇家委员会之后，牛津大学和剑桥大学才进行了改革[9]。不过，低估19世纪30年代剑桥学位的价值是错误的。虽然在那些年代，大约每10个被录取的学生中确有1个是“特招的”，但剑桥已开始恢复奖学金制度。1822年，传统的剑桥文学士荣誉学位考试建立，尽管它是一种文科教育，但需先进行一次数学荣誉学位考试，包括在牛顿物理学方面接受严格的培训[7]。因此，当时从剑桥大学毕业的一些法官、议员和天主教主教，对质量、速度、惯性以及力学原理等一些经典概念，比大多数现代的古典主义者更熟悉一些。牛津大学的传统学位也受到数学的影响，当英国协会于1832年第一次访问牛津大学时，有4位科学家得到了牛津大学颁发的民法博士的荣誉学位，他们是布朗(Brown)、布儒斯特(Brewster)、法拉第(Faraday)和道尔顿(Dalton)，这给牛津大学带来了极大的荣誉。这四个人都是新教徒，甚至可能都没有被大学录取的资格。然而，绝大多数早期的大学实际上根本不聘请科学教授讲课，[1] 那些维多利亚前期在牛津大学或剑桥大学就学的少数工业管理人员，并不被要求学习与技术有关的自然科学方面的知识。

牛津大学和剑桥大学除了很少开设与工业革命有关的课程外，还存在着生源不足的问题。例如在1840年，牛津大学的在读学生只有396人，剑桥大学是345人[11]。除了这两所大学以外，当时英国的其他大学只有一所在达勒姆新创办的大学(这是国教会创办的最后一所高等学校)、伦敦大学以及苏格兰和爱尔兰的几所大学。

苏格兰的几所大学很久前便在课程中设置了科学和工程学。比如在格拉斯哥大学，杰出的布莱克(Joseph Black，1728—1799)说服校方在1763年向他提供了一个化学实验室，他的许多经典之作都是在那里完成的。1757年，安德森(John Anderson)被推选担任自然哲

1　1839年，因为学生太少，牛津大学的物理学、化学、地质学和植物学教授有可能被解聘[10]。

学(natural philosophy)讲席的职务，不但为一些正规的班级讲课[1]，还在一些他所谓的“反对穿托加袍”(anti-toga)的夜班里，为一些技工和手工业工人上物理学启蒙课。在伦敦万国博览会召开11年前，格拉斯哥大学已开设了工程学，讲席职位是由皇家授权设置的，据说是英国最早的大学工程学的教授席位。第一位工程学教授必须保证不干扰大学里其他学科的学习，直到苏格兰检察总长为了自身的利益向学校进行干预后，大学的评议会才给他提供了一间教室。尽管在19世纪40年代初期，格拉斯哥大学已开设一些技术课，然而迟至1861年，工程学还没有被认为是“应当授予学位的一个适宜的学部”，而且多年来一直保留在文学院里。意义更重大的还是格拉斯哥大学工程学教授对当时技术的影响。第一任教授戈登(L. D. B. Gordon)进行了很成功的工程咨询工作，最后辞去了教授职务，从事铺设海底电缆的工作。第二任教授兰金(W. J. M. Rankine，1820—1872)在1855年继承了戈登的职位，他是一位有实际工程经验的工程师，尽管他后来把注意力集中到对热的研究和编写教科书上。所以，正是在苏格兰，技术和大学有了初次接触[12]。

781

从很早开始，伦敦的大学学院就设置了许多科学教授的职位(化学、实验哲学和植物学)，工程学教授的职位是在1841年设置的。学生们被鼓励学习四年“通识”课程(包括古典文学、科学、经济学、法学和哲学)，或者学习法律、医学和工程学方面的专业课程。伦敦文学士学位一开始就要求除学习古典文学、逻辑学和伦理学外，还要具备数学、自然哲学和生物学方面的知识。

因此，早在1837年(正是大学学院合并到伦敦一所大学的时候)，英国的一些经理和实业家就有机会让他们的后代接受均衡的、开明的科学教育。毫无疑问，不少人从这样的课程设置中获益匪浅，但没有证据表明当时的大学对工业或技术有任何影响。然而，在整个

1　安德森以“Jolly Jack Phosphorus”而闻名，这一事实表明有许多学生选他的课。

19世纪的前半叶，一些有远见的人已经认识到英国的工业不能再依赖早期对贸易和商业的垄断，也不能只靠那些没有受过教育的发明者和手工艺技师了。英国不肯透露工业工艺秘诀这一事实刺激了欧洲大陆各国，从而采取措施比英国更系统地促进技术的发展。英国的旅游者带回了有关德国科学发展状况的振奋人心的报告，英国科学家们扼腕痛惜（有时候是抱怨）英国科学的衰落。在扰乱欧洲的战争结束以后[13]，只有英国（布儒斯特曾于1830年说过）对参与工业的复兴犹豫不决。1832年，德·摩根（Augustus De Morgan）曾写道："那些依靠政治上的权势开厂经商者，一般来说，在他们年轻时所受的教育中没有关于地球上产品的任何信息……也不知道化学和机械原理如应用在产品上会给自己的祖国带来多大好处。"[14]

782

在对工业优势的依赖性不断增强的情况下，以及由于一批评论家呼吁加强科学教育和技术教育，许多英国人会聚到了1851年万国博览会上。

32.2 对技术教育需求的觉醒（1851—1867）

1851年万国博览会是英国技术的一个明证，这是一次举国自我陶醉的独特盛会。一百种产品经国际评审团评议后，英国赢得了其中绝大部分的金奖。然而，富有远见的观察家对来自海外竞争的迹象产生了警觉，英国在贸易和商业方面的霸主地位已明显受到了威胁，一些国家正在超越英国，因为他们的手工业工人受到比较良好的教育，政府对科学和技术方面的研究工作给予慷慨资助。举办万国博览会后的次年冬天，艺术学会在一系列讲演中总结了从这次博览会中吸取的教训。在博览会筹备期间，与阿尔伯特（Prince Consort）有过密切合作的普莱费尔（Lyon Playfair，1818—1898），为科学研究和教育事业提出很有说服力的请求："以前，原材料是我们优于其他国家的主要资本，现在原材料的价格正逐渐扯平，由于运输得到改善，它们不再

奇货可居。将来我们必须扶持工业，不是靠本地的资源优势去竞争，而是靠智力的竞争。”[15] 他还说：“理论科学的研究者……是工业战车的‘骏马’……在为工业教育创建学校的同时，也为英国的科学进步作点贡献。”

阿尔伯特的影响力使诸如这样的意见不至于石沉大海。1853 年，女王在演说中对政府支持与工业有关联的系统的科学教育作出了承诺。一年以后，内阁增设了科学和艺术部，开始时是在贸易委员会的领导下，目的是促进科学和技术教育的发展。它的第一个有关教育的任务是管理已经开办了两年的英国国立煤矿学校，该校将要与一所私人集资、在 1845 年开办的皇家化学学院[1]合并，从而开了国家资助高等技术教育的先河（如果不包括苏格兰大学和爱尔兰皇后学院中科学与工程学教授享受的政府津贴）。

783

促进工业教育的科学和艺术部是一个笨拙的机构，这一点并不奇怪，因为英国还没有制定全国性教育规划的经验，这个部门的领导人像对商业那样，在教育工作中仍然奉行自由企业的教条。一直到 20 年后，由国家管理的初级义务教育制度才产生。令人惊奇的是，科学和艺术部居然完成了如此多的工作。从 1837 年开始，贸易委员会已认可设计类的学校，但如同万国博览会已清楚表明的那样，这些学校对工业生产并无丝毫影响。1854 年新成立的科学和艺术部仍对艺术和设计负管辖职责，同时也对科学工作负责。

这个新的政府部门早期尝试在伦敦建立一所“能提供最优质教育……最高等级的自然科学学校”，但没有成功。不过在 1859 年，它为了鼓励在学校教授科学，拟订了按成绩付酬的计划。这笔经费资助给开设数学、物理、化学、地质学或博物学课程的任一所学校，教师如果已通过该部的考查，将按照考试合格的学生人数发给酬金，学生

1　这所学院每年大约招收 40 名新生，第一任教授是霍夫曼（A.W.von Hofmann，边码 269）。多年来，他和他的继任者们始终以德国模式来管理研究学院，到 1875 年，这所学院已为化学工业输送了 100 多名学生。

也能得到回报——奖品、竞赛奖金和奖学金，同时学校还能得到一些补助金用以购置图书和仪器设备。由政府主持、学生与教师加以监督的这种鼓励科学教育的制度，没有多大改变地维持了14年，直到1873年才放宽了按学生成绩付酬金的规则。这种方案无疑是成功的。1862年，70所学校中只有2543名学生；10年以后，948所学校中共有36783名学生[11]。随着时间的推移，进行考试的学科已增加到25门。

政府单纯按学生考试成绩来支付教师酬金的激励政策存在明显的弊端，尤其在科学教学没有政府管理的地区更是如此。不过，尽管存在缺点，这种政策还是达到了它的目的，数年后赫胥黎(T. H. Huxley)曾说它是“促使科学进入普通教育的一种动力”。

科学和技术的发展促成了万国博览会的举办，但科学和艺术部并非是科学和技术发展的唯一促进因素。曾帮助一些技工学校联合成全国性协会(边码779)的艺术学会，也开始对协会的成员进行考核。考试的内容既有文学方面的科目，也有科学的科目，参加考试的是一些已经离开学校和曾经在技工学校的班级里听过课的工厂工人。试题有一定难度。例如1856年的试卷就包括了下面的一些问题[16]：

784

机械原理（3小时的试卷中有26道题）：“什么是静力矩？用力矩的原理解释泵类机械中一个三冲程曲柄的恒定作用。”

实用机械学（3小时的试卷中有26道题）：“叙述退火和焊接过程，并解释这两个过程所依据的物理变化过程。”

化学（3小时的试卷中有9道题）：“列举并简要描述几种硫和氧的酸化合物，包括当硫酸存在时这种酸在铅罐中形成的产物，试用化学理论解释反应过程。”

以如此难度的考题进行测试，不及格率超过80%便不足为奇了。几年以后，科学和艺术部组织的考试取代了艺术学会在科学方面的考

试，不过艺术学会继续通过对某些技能和技艺的考试为技术教育提供有价值的服务。

万国博览会之后的几年时间里，这两个组织为了促进技术教育的发展，与偏见、惰性和骄傲自满进行斗争。艺术学会代表民间的努力，而科学和艺术部首次代表议会行使职能。不过，在各个层次的教育工作中，由万国博览会燃起的激情还未消退。全国各地的学校纷纷开设了科学课程，甚至有些接受捐赠的学校也开始教一点科学。在克拉伦登勋爵（Lord Clarendon）的领导下，公立学校委员会调查了 9 所大型公立学校的行政管理工作，建议所有的学校应当在每周 28 课时中腾出 1 小时来教自然科学[17]。这是对那些认为科学并非必需的上层阶级人士的要求。为中产阶级开办的学校是另一团体的调查对象。在汤顿勋爵（Lord Taunton）领导下的学校调查委员会建议模仿普鲁士学校的体制，打算进牛津大学或剑桥大学继续深造的大学预科学生连同对象是中层和中下层阶级的职业学校学生，都得把科学当作他们全部课程中不可缺少的一部分[18]。从这两个委员会的调查数据中可以看得很清楚，即使在万国博览会召开 10 年后，一些校长和政治家还没有明白科学或技术是与中上层阶级的教育有关的。在伊顿大学，有 24 位教古典文学的教师、8 位教数学的教师以及 3 位教所有其他科目的教师。温切斯特的莫伯利（Moberly）曾经说过："毫无疑问，我们应当教化学……" 当时认为，正如 1860 年法规上所写的，只有对那些靠手工劳动维持生活的阶层的孩子，学习科学才是合适的，这部由 1856 年成立的新教育部门实施的法规，规定给为下层阶级开办的学校一些补助金，以补偿购买科学仪器设备费用的 2/3。

785

即使是老牌大学也受到了万国博览会的影响。剑桥大学在 1851 年开设了自然科学的荣誉学位考试，牛津大学在 1853 年开设了自然科学方面的高级课程，尽管几年来很少有学生从这些新机会中获益。

虽经激烈抗争，这两所大学最后还是屈从于皇家委员会的压力，并在1852年发表了一些报告。牛津委员会的报告包括强烈要求增加补助金和物理科学奖金的分配额，而且还发表了伟大的德国化学家李比希（Liebig）的颇具讽刺性意味的一篇评论："与自然科学相结合是我们时代的一种需求，它将作为教育的方法编入大学的课程中。这一点可能除了英国以外，在任何地方无疑都是会被接受的。"[19]剑桥委员会的报告包括一份颇具启迪意义的声明，谈到了讲授工程学的科学原理的必要性：

忙于完成一些重要工作的工程师们，可以在办公室里很好地了解到有关土木工程的许多实际技术工作的详细内容，这可能是事实。然而，包括估算材料的强度和分配、弹性效应以及力与压力的普遍作用在内的数学知识与机械原理，在更重要、难度更大的工程应用中都是必不可少的，经验和技能无论如何都不可能替代这些理论性知识。

整个这段时期，对来自欧洲大陆竞争的担忧成了英国进行教育改革（educational reform）的主要原因，巴黎的综合工科学校（École Centrale of Paris）以及德国和瑞士的理工专科学校培养出了一种新型的企业家。阿尔伯特和普莱费尔（边码782）等人希望在伦敦能建立一所较大的工业大学，把英国国立煤矿学校和皇家化学学院合并起来，但一次又一次的挫折使这一愿望没能实现。伦敦为在科学或技术方面具有较高水平的研究工作提供的其他一些设施并不能吸引许多学生，伦敦以外的这种机会就更少了。曼彻斯特的欧文斯学院成立10年后，在1861年也只有88个全日制学生，达勒姆、苏格兰的一些大学，还有伯明翰和英国中部学院以及一些技工学校仍然承担着重要的工作，这就是全部情况。不断上扬的希望好比水晶宫袅袅腾腾的烟雾，并没有勃发出来。英国社会的等级制度庇护上层阶级免受教育改革的

786

影响，除了那些成功进入公立学校和老牌大学的学生外。伦敦和苏格兰的一些工厂业主和经理已在学习科学的一些课程，他们中的大多数人除了通过自学获得一点零星的知识外，没有任何科学原理方面的知识。这种缺陷一直存在，因为纺织厂和铁厂老板仍不相信他们的子女需要接受如此新奇和花钱的技术教育。比较小的制造商和经理一般都白手起家，很少受过超出初等或商业范围外的教育。大多数工人离开学校很早，阅读和写作能力很低，因此不可能在科学和技术方面接受进一步的教育。虽然他们中间的一些人——大部分是人口稠密地区的工头或技术熟练工，能够得到这种紧张的学习机会，但他们拒绝上司的好意，不愿在干了一整天活后再坐在暗黑的屋子里学习机械原理和物理学[20]。每年对英国和国外技术教育所进行的对比，使得一些有远见卓识的观察家越来越不安。

32.3 欧洲大陆的技术教育

在万国博览会召开的那段时期，英国的工业和贸易在世界上居于领导地位，而在普通教育和技术教育方面却是如此落后，乍一看这似乎使人感到迷惑。对这个问题的解释，没有比 1884 年皇家委员会在关于技术教育的讲话中阐述得更透彻的了：

正如我们所指出的，现代工业体系的开始主要归因于英国。在以瓦特（Watt）、阿克赖特（Arkwright）或克朗普顿（Crompton）的发明为基础建立工厂之前，我们有时间到国外去打基础。与此同时，我们自己的贸易额和产品逐年增加，这个世纪早期的一些大规模战争消耗了能源，并且耗费了欧洲大陆的资本。在战后的多年和平时期，我们几乎保存了使用棉花、羊毛和亚麻布的改进型机器的所有领地。根据直到 1825 年才被废除的 18 世纪的各种法令，为国外企业招募英国的手工业工人是要受到惩罚的；一直到陛下进行早期统治时，向国外

输出纺纱机也是被禁止的。因此，近半个世纪前，当欧洲大陆各国开始建设铁路和建立现代化的纺织厂和机器加工车间时，他们发现自己在英国正面对着一个成熟的工业组织，对那些无法接近我们工厂的国家而言，这些组织高深莫测。

787

为了适应这种形势，许多国家成立了技术学校，像巴黎的综合工科学校、德国和瑞士的理工专科学校，并且输送一些工程师和科学人才到英国学习，准备把他们培养成为能在这些学校担任技术教育的教师。

现在几乎欧洲大陆的每个国家都有高等技术学校，而且大家都认识到这是培养未来有志于成为工业企业技术带头人的途径。不过，德国的几所大学已经培训，而且还正在培训许多化工技术方面的人才。众所周知，欧洲大陆大量创建制造业公司、机械工厂以及其他类型的工厂，如果没有在学校中建立高等技术教育的体系，没有为最初的科学调查配置必要的设备，没有对教学和最初的研究工作进行正确的评估，那么，在诸多不利条件的影响下，技术教育是不可能得到充分发展的。这些国家已意识到了这一点。

拥有令人羡慕的技术教育体系的一些欧洲大陆国家，能够以国家支持的义务教育为基础来发展技术教育。事实上，英国于1870年制定的《教育法》所提出的改革，早在19世纪20年代就已在德国的大多数省份出现了。例如普鲁士于1826年提出一项规章，要求所有7—14岁的儿童要上全日制学校。有警方介入的学校委员会强迫学生入学，结果在19世纪30年代，普鲁士的204.3万名儿童中有202.1万名在校学习[21]。在其他一些欧洲国家，儿童在完成初等教育学业前不允许参加工作，大约到14岁才能进厂劳动，但在欧洲的许多地方，他们必须在职业学校继续接受白天上课的义务教育（在瑞士，则为工作时间的一半），一直到16岁。这种全日制的职

业学校给工人带来很大的好处，不但讲授与许多职业有关的科学原理，而且还迫使年轻人继续阅读和思考，因而巩固了他们在小学里所接受的初等教育。在万国博览会期间，仅普鲁士就有26个职业学校。1884年的皇家委员会发现，他们所到各国所有的城镇几乎都有承担继续教育的学校。所有的学校都教科学和几何制图，有些学校是高度专业化的，专门教授纺织、采矿、建筑、酿造以及类似行业的技术。

国外广泛实施的普及技术教育的体制并非出于人道主义，而是旨在促进欧洲大陆国家间的相互竞争，赶上并超过英国的工业水平。因此，教育重点放在培训经理和其他一些将要指导技术方针的人身上。这里有三个例子可以说明当时的做法。在莱茵－威斯特伐利亚，有一所建在波鸿由政府、城镇和当地工业资助的冶金学校，其全部课程要学三年，一周授课时间超过36个小时。具有4年以上实际工作经验的人可以全脱产上学，教学大纲包括理论数学和应用数学、物理、化学、制图、冶金、机械设计、会计和德语。学生的年龄从18—34岁，包括铸型工、搅炼工、装配钳工、车工、锅炉制造工和制模工，全部课程需付30先令学费。在荷兰，代尔夫特早在1864年就有一所由国家资助的理工专科学校，宗旨是为荷属领地培训工厂经理、工程师、建筑师、采矿专家甚至校长。在开姆尼茨有一所高等职业学校，不仅培训工头，更主要的是培养将来可能成为经理的学生，他们16岁入学，主要学习科学，学制是4年半。

788

为了争取化学工业的领导地位，德国转向大学求助。与英国相比，德国的大学曾在长时间内处于领先地位。早在1830年，德国的大学生就已接近1.6万人，甚至迟至1885年，据估计，德国的大学生占其人口的比例仍然是英国的2.5倍。历史学家兰克（Ranke）、科学家亥姆霍兹（Helmholtz）和李比希把研究精神带进了大学，结果大学的研究实验室——而非大学生的课堂——成为培养化工专家的苗圃。科

尔比（Kolbe）在莱比锡的实验室有 40 个为研究人员准备的位置，拜耳（Baeyer）在慕尼黑有 50 个进行研究工作的学生，还有吉森的李比希、海德堡的本生（Bunsen）、波恩的凯库勒（Kekulé）以及格丁根的维勒（Wöhler），所有这些杰出的化学家培养了一批化学工业方面的骨干，而且他们和德国的化学工业保持着紧密的联系。难怪英国到欧洲大陆的一些访问者，对那里科学与生产之间的联系印象深刻甚至感到震惊。特别是在德国，工业结构得益于这样的紧密联系，因为铁路、矿山和某些较大产业不是掌握在私人手中，而是由国家垄断或企业联合控制的。

即使在美国，创建教育事业也比英国更坚定，1862 年由国家资助的学院捐款更是有力地促进了技术教育的普及。到 19 世纪 80 年代，所有的农村或矿山周边地区都有了公立学校[26]。1865 年创建的麻省理工学院因其办学宗旨而闻名："我们打算为那些想在企业里担任管理职务的人提供机会……在我校，学生将系统地学习政治和社会的关系，并掌握科学的方法和生产工艺。"[22]

789

相反，英国在 1851 年举办万国博览会以后的 16 年中，仍然没有实行义务教育，在学校里也没能普及科学教育。自从 1832 年成立达勒姆大学以来，英国没有开办新的大学，也没有一个学院能起到欧洲大陆理工专科学校所起的作用。科学和技术教育的运动并未停止，但需要注入一种全新的推动力来促进这一运动。

32.4 实施科学与技术教育的年代（1867—1889）

1867 年，巴黎万国博览会正好起到了这种全新的推动作用。英国曾在 1851 年万国博览会上几乎囊括了所有项目的大奖，而到 1867 年却不得不对勉强得到的 12 个奖项感到满意。曾在 1851 年主持评奖的普莱费尔也是 1867 年的评审员之一，他写了一封令人难忘的信，发表在《艺术学会会刊》(*Journal of the Society of Arts*) 上，其焦虑的心

情溢于言表[23]。他在巴黎发现：

一种非常一致的观点占了优势，认为我们的国家已表现得缺乏独创性，而且在常规工业技术方面也止步不前……人们达成共识的原因是法国、普鲁士、奥地利、比利时和瑞士已拥有了一套针对雇主、工厂和车间经理的完善的工业教育体系，而英国却没有。

由艺术学会召集的一次会议专门讨论了这封信，结果舆论大哗。议会决心对工业教育的迫切需要开展调查，通知驻外使馆的大使和领事报告所在国的技术教育发展的情况[7]，委派一个特别委员会（Select Committee）在进步的企业家塞缪尔森（Bernhard Samuelson，1820—1905）的领导下，“调查关于在工业各部门进行理论和应用科学教育的各种规定”。特别委员会的报告成了英国技术史（history of technology in Britain）上的转折点，因为英国从此将技术教育纳入学校课程，导致20世纪英国工业的高度发展。

驻外使馆人员提交给委员会的报告中阐明了两个论点。第一，欧洲大陆各国较低的工资和工业的稳定发展，使制造商在争夺市场方面能够成功地与英国竞争；第二，在某些企业里，这种竞争的成功取决于经营者对应用科学的掌握，而相比之下英国不具备这种条件。例如，报告还向委员会披露了比利时人依靠对矿石、石灰石助熔剂和燃料进行化学分析的方法降低了铁架的生产成本。由于价格便宜，格拉斯哥采用了比利时制的铁架。报告还披露了英国的纺织品被送到法国染色，因为法国的技术比英国先进。这种技术先进归因于他们学校的应用科学教学：“外国人认为我们的成就是由于我们的水和阳光，然而我们认为是因为有了化学。”

790

委员会收集的各方面证据表明，英国教育工作的缺陷在于以下几点：没有义务制的小学教育，以及随之产生的大量文盲；除了公立

学校（只有4所学校教一点科学）和有基金资助的文法学校（只有18所这类学校，一周只有4小时教科学）外，接受中等教育的机会非常少；教科学的教师和科学专业的毕业生都很缺乏，以至于科学和艺术部不得不从战时办公室借用皇家工程部队的官员来监督该部组织的考试；矿业学院实验室的人员不足，因为学校不能提供足够的合格的候补人选。在这期间，欧洲大陆已经建立起牢固的学校体系，向理工科学校输送学生，培养未来的经理和企业家。仅苏黎世理工专科学校就有60位教授和讲师，相比之下，南肯辛顿却只有12位教师。

伦敦市立学院的阿博特（Edwin Abbott，1838—1926）是一位很开明的校长，他提供了可在学校开设科学课的最有力证据。通过各种方式升入这所学校的每一个学生，每周都要学习1个小时的科学，而且要参加科学和艺术部组织的考试。学校没有实验室，但是这些男孩子"习惯于在家里开展研讨，他们的行为受到来自各方面的鼓励"。负责教科学的教师是伦敦大学毕业的霍尔（Thomas Hall），珀金（W. H. Perkin，1838—1907）就是在这所学校听了霍尔的课，随后对化学产生了兴趣，得到鼓励后开始进行实验，后来发现了煤焦油。

英国的科学和技术高等教育受到两个方面的阻挠，即中等教育的不足和老牌大学对科学技术存在偏见。关于后一点，赫胥黎尖锐且略带嘲讽地说："如果我打算让自己的儿子管理工厂的一个部门，

791

我不会把他送到大学里去……现在大学是以文学和语法作为教育的基础，当他们刚接触到科学的外表，学到一点皮毛知识，就自夸自己知识丰富了。按照我的理解，那不是真正的教育，也不是我所理解的普通教育。"[20]

委员会所推荐的是这样一种合理的、有预见的模式：涉及每一个儿童的义务教育；所有初等学校进行科学教育；一种经过全面改革的、配有科学教育（scientific instruction）的中等教育体系；一些享有基金资助的学校改组成区域性的科学学校；为这些科学学校建立公开的奖

学金制度，“使各个年级的学生有可能从最初等的学校升到最高等的学校”；高等的科学和技术教育受到国家的资助；在教师培训学院里，为学生设置理论科学和应用科学方面的课程；政府机关为伦敦的科学教育工作进行协调。这是一份19世纪未来几十年教育发展的蓝图。事实上，为了敦促英国公众落实所有这些建议，差不多经过了三代委员会的努力，还要经受欧洲大陆两次战争的挑战。

吸取了1867年巴黎万国博览会失败的教训后，通常意义上的学者还有企业家们都积极倡导科学和技术教育。1868年3月18日，惠特沃思爵士（Sir Joseph Whitworth，1803—1887）写信给迪斯累里（Disraeli），为促使“本国现有的科学和工业相互之间的关系更加紧密”，他提议创办30个名额的奖学金，每人100英镑。在同等条件下，“理论联系实际的学生，以及一些把理论知识与完善工艺相结合的手工业工人”，都可以获得奖学金。英国的技术要加倍地感激惠特沃思，一方面他把测量的精密度引入工具制造行业；另一方面，他一直在工程技术专家中建立一种切实可行的方法，把工厂的经验和大学教学结合起来，把车间的经验和实验室的工作结合起来[24]。他提供给科学教育特别调查委员的证据，显示出他是一个洞察技术教育问题症结的人。他希望男孩子们从刚开始上学时就能学习使用工具：

首先，我要通告一下，6个男孩子将进行一次用刀比赛，我会让木工准备6根长为8英寸、直径为1英寸的圆木，要求这些孩子用刀把它削成方木。第一次试验会用一块白松……第二次试验会用红松……第三次试验会用山毛榉或榜木或栎木。这种活动能让小孩子们了解木头的不同特性，同时根据所削的不同木头学会把刀磨锋利。对于削栎木和削白松，刀刃的锋利要求会截然不同。如果这时你发现了一个非常聪明的孩子，或许将来他会成为一名外科医生，而一个智力稍差的孩子将来可能当一个屠夫或一个鞋匠。不过，用刀的知识对所

792

有的孩子都是有益的。[20]

这是技术教育的一个典范。

特别调查委员会的建议包括国家应支持教育工作，尤其是支持理论科学和应用科学方面的高等教育。但是，在19世纪60年代，政治思想家们已经把注意力集中在对达尔文主义（Darwinism）危险的曲解上了，他们过分强调竞争，认为不必在协作和互相依赖的基础上求得生存，这种风气对国家为教育或科学发给津贴的想法产生了副作用。幸运的是压力来自另一方面。1868年，为了讨论科学研究和科学教育工作的条款，英国科学促进会成立了一个权威的委员会。一位代表将这个委员会的报告呈递给枢密大臣，恳请他全面调查国家与科学的关系。这位代表的工作取得了成功，一个皇家委员会在1872年获得了任命[25]。

皇家委员会的报告十足是一部标志性作品，包括了各种各样的资料，例如初级科学教学所必需的仪器设备的目录（附有价格和使用说明）、德国大学里自然科学的必修课程，以及牛津大学和剑桥大学的教员名单及他们的职责。在委员会的建议中，既有伦敦各博物馆的维护问题，也有爱尔兰皇后学院鼓励发展科学工作的问题。

从资料中可以看得很清楚，从10年前成立克拉伦登委员会以来，公立学校的本质已经有一些变化，但还没在实践中有相应的体现。伊顿、拉格比、温切斯特和马尔伯勒（只是作为实例提到他们）都赞同学生应有一点科学素养，“我把科学引荐到传统的六年级”（惠灵顿学院的校长说），“只是为了增加孩子们生活中的乐趣（形式上的考试不足以说明取得的效果），也为了使他们拓宽自己的兴趣从而能改进他们的文学作品”。不过，这个委员会同样不得不“把我们认为学校里科学教育的现状是非常不能令人满意的这种观点记录下来，因文科教育而忽略知识教育这一重要的分科，这个事实本身就是十分令人遗憾

的；考虑到科学对本国物质利益的作用越来越大，我们只能把几乎所有上层阶级和中产阶级都完全拒绝接受自然科学教育的状况看成国家的灾难”。委员会接着提出建议：

1. 对所有公立和有基金资助的学校，应该设置足够多的自然科学课程，学习自然科学所占用的时间平均每周不应少于6小时。

2. 在所有的学校常规考试中，自然科学所占的分数不能少于1/6。

3. 任何毕业考试都应当保持同样的比例。[1]

颇有讽刺意味的是，时至今日，虽经历了三代人，大多数英国学校居然还认为这些建议过于激进。

这个委员会关于在大学里鼓励自然科学教学的建议同样是激进的。不过，风气已有所转变。从德国引进的一种观点是把大学当作研究机构，以推进前沿知识领域的发展，它被伦敦各学院以及曼彻斯特的欧文斯学院欣然接受。受到同样想法的鼓舞，在伯明翰（1880年）、布里斯托尔（1876年）、利兹（1874年）、利物浦（1881年）、纽卡斯尔（1871年）、诺丁汉（1881年）和设菲尔德（1879年）相继成立了一些其他学院（不过与德国的大学不同，这些学院与地方有很紧密的联系）。除了附属于达勒姆大学的纽卡斯尔学院以外，所有这些学院都帮助学生在伦敦的大学获得校外学位。

科学的迅猛发展和德国学术成就的感染，不仅使新的平民学院受到影响，即使是一些老牌大学也受到了影响。1870年，牛津大学克拉伦登实验室第一次开设了物理课。1871年，麦克斯韦（Clerk Maxwell）开始监管剑桥大学卡文迪什实验大楼的建造。1881年，剑桥大学把自然科学的荣誉学位考试分为两个部分，第二部分和其他考试的第二部分一样，逐渐发展成我们今天所熟悉的那种高度专业化培训。

1　本章“相关文献”[25]，第6份报告，1875年，第10页。

同时，初级教育发生了巨大的变化。1870年、1876年和1880年颁布的《教育法》，规定要成立学校委员会，赋予他们创办和维系初等学校的法定责任，采取措施提高入学率。1871—1881年，公立初等全日制学校的入学人数从123.1万人增加到286.4万人。1879年，比较开明的伦敦学校委员会已拥有1300多位拥有高级自然科学文凭的教师，一半以上的学校开设了自然科学课程，哪怕只讲授博物学。利物浦学校委员会委派了一位力学示教讲师，用一辆手推车载着仪器设备，从一所学校到另一所学校巡回教学[27]。不过直到1890年，自然科学和手工课的义务教育才被纳入初等学校的章程。

794

英国技术教育（technical and technological education）的铺垫工作旷日持久，英国国内仍然缺乏中等教育，也没有能和欧洲大陆理工专科学校相媲美的高等技术教育学院，在纯科学（pure science）和应用科学（applied science）之间仍未能建立起坚固的桥梁。然而，从18世纪传承下来的维多利亚女王时代阻碍教育方向改变、长期与改革者抗衡的巨大的保守势力业已溃败，每年都能看到一些新的计划得到实现，而一些陈腐的偏见越来越没有市场。

在最后需要克服的偏见中有这么一种观点，认为技术技能（technical skill）不能在职业学校或技术学院讲授，只能在“工作岗位”上学习。尽管人们一致称赞巴黎培养钟表匠的学校和德国开姆尼茨的高等职业学校，但议会仍然拒绝在英国支持类似的学校。政府预备资助科学原理的研究，但不资助工业技术或职业技术的研究。伦敦同业工会开始承担这方面的责任。1876年，伦敦城市振兴技术教育同业学会宣告成立，为技术教育事业设立了一项永久性基金，这就弥补了在1868年成立的比较开明、有预见性的塞缪尔森（边码789）的特别委员会与1889年颁布的《技术教育法》之间的缺口。第一，根据按考试成绩颁发奖金的原则，由协会举办那些由于技术性太强而科学和艺术部无法涵盖的科目的考试。多年来，艺术学会一直想承担这

项工作，但无法提供足够的金钱奖励。第二，协会于 1881 年至 1883 年期间在芬斯伯里创建了第一所真正的技术学院，它强调与贸易、商业方面有关的自然科学实际应用的课程。[1] 第三，协会在南肯辛顿创建了著名的城市同业工会学院，它不仅在工程学方面（就是现在的专业学科），而且在物理学方面，强调高等技术的科学基础。

城市同业工会的全部计划获得了成功。例如到 1890 年，49 门技术科目的考试有 6000 多人应考。各方面的迹象都表明工人要求接受技术教育。1882 年，当摄政街理工专科学校对学徒敞开大门提供职业教育的时候，到校的学生超过了 6000 人。伦敦其他一些由当地慈善团体筹资建立的理工专科学校，同样也取得了成功。但是，技术教育的先驱者所添置的设施并不充足，尽管培养的训练有素的技术人员每年有少量增加，但根本不能满足需求。他们还得为毕业生创造就业机会，因为许多经理仍然对此持有偏见，不愿接纳学院培训的技术人员或职业学校培养的手工业工人。他们更得让经理们确信，在许多企业里依靠那些强壮而没有科学知识的工人和一些没有技术的业余发明者的日子已经一去不复返了。

795

克服这些偏见的促进因素再次来自对国际竞争的新的恐惧。英国组织建立了另一个皇家委员会[26]，这个委员会的报告包括了 19 世纪 60 年代以来发生在英国工业中的本质变化的确凿证据。前面已经提到（边码 778），在 1868 年，诺丁汉的织带厂的工人中有一半是文盲。到 1884 年，诺丁汉的织带制造商强迫他们的学徒到职业学校上学，有的老板甚至还支付学费。证据表明：“过去设计人员通常被送到法国培养，不过，后来的大多数设计人员都是曾在诺丁汉学校接受过培训的诺丁汉人”[26]。英国在工业的某些部门——特别是重型的工程技术部门——拥有自己的工艺师，而且他们的技艺仍然没有竞争对手。不过，委员会也提出了令人不安的证据，欧洲大陆在其他部门

1　类似的学院在欧洲大陆国家已存在了半个多世纪。

特别是化学和电力工业已取得了领先优势。例如，珀金在英国创建了染料工业（边码27），而且所用原材料——煤，不仅资源丰富，而且很容易买到，然而到1884年，英国只有5家印染厂，产值不超过45万英镑。相反，德国有17家印染厂，每年有200万英镑的产值，其中4/5的产品用于出口。欧洲大陆的工厂已在运用法拉第的发明。数学在桥梁建筑上的应用，使德国人在桥梁的稳定性和经济性结合方面胜出。作为一个粗纺毛纱市场，比利时的安特卫普市正在取代英国的利物浦。

皇家委员会的详尽调查（包括对欧洲大陆技术教育状况的详细调查）虽未贸然地下结论，但确实对十分错综复杂的情况提供了清晰的分析。英国的技术教育正面临困难，中等学校的数量不足且不够格，导致高等技术教育基础薄弱，经理和雇主们接受应用科学教育的机会极少，这是英国技术教育遇到困难的原因。据估计，德国在工业界有4000名在大学或理工专科学校里接受过培训的化学家，而英国却为数不多。不过，姗姗来迟的义务教育制度（到那时只有14年历史）正开始体现出优越性，现在存在的问题已不再是工人中间的文盲，而是工厂管理人员对应用科学的忽视。

796

1889年的《技术教育法》(*Technical Instruction Act*)出自这个皇家委员会。由于准许地方当局建立技术学校，对进行自然科学教学的中等学校给予资助，这项法令对消除英国技术教育上的弊病起到了一定的作用。但唯一有效的补救方法，即在全国范围内建立中等教育体系，直到1902年才实现。1890年，地方性《税收法（关税和消费税）》[*Taxation* (*Customs and Excise*) *Act*] 获得通过，使地方当局可以利用一大笔从关税和消费税收中得到的金额（所谓"威士忌酒钱"）来发展技术教育。这场英国技术教育的斗争，好不容易才取得了胜利。全国的技术学院都振兴起来了。有一些学院，例如莱斯特职业学院和布赖顿技术学院在《税收法》通过后不久就建立了。其他一些学院，例如兰开斯特和莫克姆继续教育学院，作为技工学校曾经有

过一段悠久而光荣的历史，在《税收法》通过后都由地方当局接管。

这个皇家委员会还记载了应用科学在大学里受到重视的证据。罗斯科（Roscoe）在曼彻斯特开设的工艺化学课程，一点也不比苏黎世理工专科学校的水平差。格雷厄姆（Graham）在伦敦的大学学院里开设了化学工艺学，包括酿造、冶金、面包制作、制碱工艺、肥皂、玻璃、陶器和农业化学等方面内容。肯尼迪（Kennedy）在国内第一次开设关于土木工程原理的实践性课程，在福斯特（Foster）的物理课上学生必须自己制作仪器。不过作为研究中心，英国的大学仍旧落后于德国和瑞士，与欧洲大陆国家对实验室资助的规模相比，从英国议会得到的财政资助更是少得可怜。对来自外国的竞争的担忧仍然是刺激改革的动力，例如为了努力赶上德国的帝国技术物理研究所，1900 年成立了国家物理实验室。迟至 1903 年，在关于将皇家科学学院、皇家矿业学校和城市同业工会工程学院合并到帝国理工学院的众多争议中，有一条是将帝国理工学院建成伦敦的“夏洛滕堡”。

797

1902 年的《教育法》确立了国家的中等教育体系，6 所市立大学[1]的出现完善了英国技术教育的结构。两次世界大战和来自外国的市场竞争给英国人留下了深刻印象，但这一现状并没有从根本上得以改观。19 世纪 80 年代，人们看到业余的科学技术爱好者的退出与专家的进入。在英国，专家并不是由于工业的需要而产生的，而是科学自身的复杂性增长的一种产物，只是到了世纪之交，工业才发现了专家的价值。现在，专家已取代了发明者，在许多行业取代了手工艺工人，把发明和工艺转变成精密科学。

1 贝尔法斯特（1908 年）、伯明翰（1900 年）、布里斯托尔（1909 年）、利兹（1904 年）、利物浦（1903 年）、设菲尔德（1905 年）。

相关文献

[1] Porter, R. G. 'Progress of the Nation.' London. 1847 ; quoted by Dodds, J. W. 'The Age of Paradox.' Gollancz, London. 1953.

[2] Sadler, M. E. and Edwards, J. W. 'Special Reports on Educational Subjects', No. 2. London. 1898.

[3] Kelly, T. 'George Birkbeck, Pioneer of Adult Education', pp. 207–77. University Press, Liverpool. 1957.

[4] Heywood, Sir Benjamin. 'Addresses at the Manchester Mechanics' Institution. 'London. 1843 ; quoted by Kelly, T. Ref. [3].

[5] 'Report of the Select Committee on Scientific Instruction.' London, Parliamentary Papers, Session 1867–1868, Vols 15, 50.

[6] Hole, J. 'An Essay on the History and Management of Literary, Scientific, and Mechanics' Institutes.' London. 1853.

[7] Cardwell, D. S. L. 'The Organization of Science in England.' Heinemann, London. 1957.

[8] Hamilton, Sir William. 'Discussions on Philosophy and Literature, Education and University Reform...' (3rd ed.). Edinburgh. 1866.

[9] Armytage, W. H. G. 'Civic Universities.' Benn, London. 1955. This book contains a full and well-documented account of the history of English universties. For the state of universities before 1851, see chap. 8. See also: Cardwell, D. S. L. Ref. [7], chap. 3.

[10] Turner, Dorothy M. 'History of Science Teaching in England.' Chapman & Hall, London. 1927.

[11] Balfour, G. 'The Eduational Systems of Great Britain and Ireland' (2nd ed.). Clarendon Press, Oxford. 1903.

[12] '*Fortuna Domus*. A Series of Lectures Delivered in the University of Glasgow in Commemoration of the Fifth Centenary of its Foundation', see lectures by J. W. Cook, P. I. Dee, and J. Small. University Press, Glasgow. 1952.

[13] Babbage, C. *Quart. Rev.* 43, 305, 1830.

[14] De Morgan, A.*Quart. J. Educ.*3, 1832 ; quoted in ref. [7], p. 49.

[15] Playfair, L. In 'Lectures on the Results of the Great Exhibition of 1851.' London. 1852.

[16] Booth, J. *Trans. nat. Ass. Prom. soc. Sci. for 1857*, 145, 1858.

[17] 'Report of the Public Schools Commission.' Parliamentary Papers, Sessions 1862, Vol. 43 ; 1864, Vol. 20.

[18] 'Report of the Schools Enquiry Commission.' London, Parliamentary Papers, Session 1867–1868, Vol. 28.

[19] 'Report of the Royal Commission on the University of Oxford.' London, Parliamentary Papers, 1852.

[20] 'Report of the Select Committee on Scientific Instruction', especially pp. iii-vii. London, Parliamentary Papers, Session 1867–8, Vols 15, 54.

[21] Bache, A. D. 'Report on Education in Europe.' Philadelphia. 1839.

[22] Mack, H. T. 'Special Reports on Educational Subjects', No. 11, pp.101–229. London. 1902.

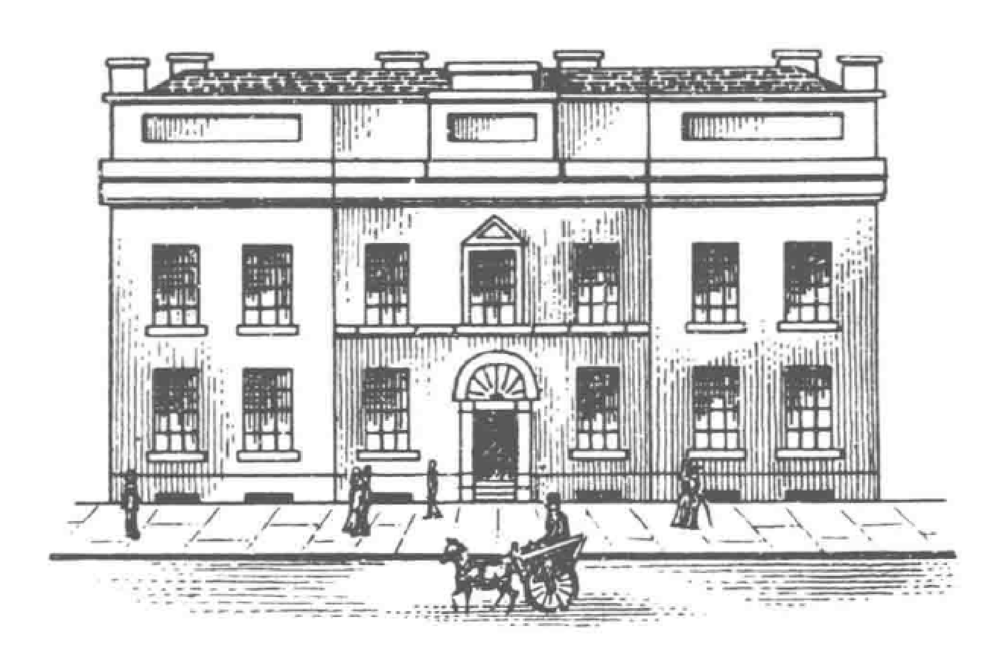
[23] Playfair, L. *J. Soc. Arts*, 15, 477, 1867.

[24] Low, D. A. (Ed.). 'The Whitworth Book,' Longmans, London. 1926.

[25] 'Reports of the Royal Commission on Scientific Instruction and the Advancement of Science.' London, Parliamentary Papers, Sessions 1872, Vol. 25 ; 1873, Vol. 28 ; 1874, Vol. 22 ; 1875, Vol. 28. The Chairman was the Duke of Devonshire. The Commission included T. H. Huxley, Norman Lockyer, Sir John Lubbock, and Bernhard Samuelson.

[26] 'Reports of the Royal Commission on Technical Instruction.' London, Parliamentary Papers, Session 1884, Vols 29, 30, 31. The Chairman was the same Bernhard Samuelson who had presided over the Select Committee on Scientific Instruction sixteen years earlier.

[27] Gladston, H. 'Report of the British Association for the Advancement of Science', 1879, Section F, p. 475.Hance, E. M. *Ibid.*, p. 477.



曼彻斯特技术学院，1824年。

鸣谢：费耶尔夫人（D. Feyer）和福斯特先生（M. D. Forster）帮忙搜集了撰写本章所需的部分资料，笔者对此深表谢意。

第33章　技术和行业组织

查尔斯·威尔逊（CHARLES WILSON）

799

我们最好能把19世纪技术和行业组织之间的关系看成专业化主题的一组变奏曲。如果把行业组织定义为生产、销售和服务的手段，那么，很明显它的性质在19世纪发生了根本的变化。同样明显的是，这些变化是一些重要的技术发展的结果，这些技术虽不是所有行业的技术，却是许多行业的核心技术。现代联合企业中的技术组合从产品工程师或化学工程师开始，中间经过一系列专家的工作，终端是广告代理商和市场调研团队。在工业革命早期，这些工作常由一两个人完成。从韦奇伍德（Josiah Wedgwood）、博尔顿（Matthew Boulton）、戈特（Benjamin Gott）到梅森（Josiah Mason）等，这些企业家对整个工业生产过程进行的调查研究是前人从未做过的。他们通过对现有的或潜在的市场需求进行预测，使生产出来的机器满足市场需求。发明、技术、工厂体制甚至最初形式的广告（如韦奇伍德著名的产品名录），都是他们手中的工具。类似交通运输这样的公共设施风险投资的利润远高于工厂所能产生的利润，现代生产企业期望能由私人企业或政府单独开发。韦奇伍德和博尔顿都关心运河的建设，东北部的炼铁厂老板则密切关注早期的铁路建设，早期的纺织制造商得自己制造他们工厂需要的机器。那个时代的企业家的作用，体现在社会和经济的各个领域。

不过，即使在最初阶段，也有迹象表明行业内需要专业化，它是后

来发展起来的许多事物的萌芽。事实上，经营上的敏锐性和一定的组织管理能力，无论过去还是将来都是许多企业成功的基础。聪明的厂商甚至对纺织行业新机器的原理也无不精通，这些年的许多机械发明确实不过是钟表匠、铣工和锻工传统技能的延伸，迎合了工厂老板的需求。在这样的行业里，最活跃的因素仍旧是直接经营的企业家把握商机的意识。一般来说，这都是一些为大众市场提供消费品的行业，它们必须跟踪甚至预测市场的时尚需求、留意款式设计和商品价格，批量生产价格稳定、品质划一的适销对路的产品。在新兴的资本－商品行业，例如金属、化学和新生的工程业中，这种市场所需要的商业人才并不匮乏。

800

前面已着重提到博尔顿的经商才能，但韦奇伍德的才华体现在与博尔顿全然不同的领域中。在蒸汽发动机的问题上，博尔顿的才能和瓦特的科学发明天才相结合，推出了合用的发动机，并根据不同的行业特点进行了改造，在铁匠作坊、纺纱厂、酿酒厂和矿山里都能使用。这一时期英国和法国最鲜明的对比是，英国能以较快的速度采纳和推广新的发明并应用到工业中。世界上没有一个国家能有法国那么多的发明天才，但他们中大部分人的发明才能终被湮没，除非迁居到能发挥他们创造力的其他国家——特别是英格兰和苏格兰。

步入 19 世纪，可以说随着时间的推移，以技术为动力的行业数量不断增多。在工业革命的第二阶段，最重要的可能是工程业。当瓦特的专利权在 1800 年过期时，发动机仅被造出约 500 台（第Ⅳ卷，边码 163）。由于连中等水平的技术人员都很缺乏，不论有无专利权都难以大量制造发动机。1800 年到 1851 年间，影响工业发展和工业组织的两个根本变化是培训出一支工程师队伍并发明了自动化工具，后者使得人们有可能精确而且大量地重复生产某种机器。有一种观点认为，成批生产已超越手工工人的手、眼所能达到的能力范围。1851 年，工程师联合学会（Amalgamated Society of Engineers）宣告成立并举

办了伦敦万国博览会，这是对工程师技艺的最高褒扬。他们的前辈可以追溯到布拉默（Joseph Bramah），他是第一个用机床造锁的人。布拉默的学生莫兹利（Henry Maudslay）制造出自动车床，从他的车间加工出来的部件比世界上任何工厂所曾见到的都更精确。莫兹利又培养出许多得其真传的学生，尤其是内史密斯（James Nasmyth）和惠特沃思（Joseph Whitworth）。伦敦的机械行业成了培训的场所，一些有进取心的英国北方人尤其是苏格兰人，聚集在一起完善他们的技能，拓展机械领域的知识，因而有了伦尼家族（the Rennies）、费尔贝恩家族（the Fairbairns）、贝尔家族（the Bells）、内皮尔家族（the Napiers）等各种类型的工程师。他们制作的设备和改进装置风靡整个行业并激起人们新的更大热情，一扫那些曾经耽误过瓦特和早期机器制造者的障碍。内史密斯在自传[1]里写道："如果我们没有办法镗出尺寸正确的汽缸，车出大小合适的活塞杆，设计出阀的工作面，我们怎么会有这些高质量的蒸汽发动机呢？"新的生产方法产生了新的行业，特别是在伦敦、曼彻斯特和利兹。由于习惯于恪守精确的标准，到19世纪中期，尽管有可能在曼彻斯特、格拉斯哥、利物浦和伦敦生产同一机器的不同零部件，但装配起来仍能确保整台机器正常运行。

801

这种工程公司多属小规模或中等规模，雇员在6—60人或80人之间。不过，按当时的标准，少数企业发展得很大，例如利兹专业生产机车的基特森斯（Kitsons）公司、奥尔德姆制造纺织机械的普拉茨（Platts）公司，还有曼彻斯特的惠特沃思公司，它们在接近19世纪中期时发展得很快。惠特沃思公司在1844年雇用了172人，10年以后增加到636人。基特森斯公司在1845年雇用了259人，到1851年扩充到了431人。

钢铁工业是另一个发展迅速的行业，技术家（technologist）在推动发展的过程中起了很大作用。1850年，继苏格兰、斯塔福德郡和南威尔士之后，东北部地区的生铁工业也发展得很快。在此后的25

年内，米德尔斯伯勒地区生产的生铁产量占整个英国的1/3。米德尔斯伯勒的生铁增产应归功于当地制造商的技术进步，尤其是其中的两个人作出了非凡的贡献。沃恩（John Vaughan）是伯尔科－沃恩公司（Bölckow，Vaughan）的老板，不仅发现了克利夫兰山区里阿斯铁矿石的主要矿层，还带头抨击了生铁生产中不经济的低效冶炼方法。他提出利用废气将蒸汽升温以及加热送风的方法，并将高炉尺寸从5000立方英尺增大到2万立方英尺，结果耗煤量降低，生铁产量上升到日产500吨。另一位革新者洛西恩·贝尔（Lowthian Bell，贝尔兄弟之一）是沃恩的邻居，比沃恩更有文化，他将自己的经验和观点记述下来，特别是他在1884年撰写的《铁和钢的生产原理》（*Principles of the Manufacture of Iron and Steel*）成为研究维多利亚时代工业的重要史料之一。像沃恩和贝尔这样的企业家，提升了英国东北部地区的生铁产量。不过，一直到1879年，这个地区蕴藏的含磷铁矿还不能被应用新方法炼成低成本钢材。就在那一年，吉尔克里斯特（Gilchrist）和托马斯（Thomas）发现了一种除磷的方法，从而克服了东北部的先天不足，使它变成了一个能够像生产铁一样大量生产钢材的地区。

802

技术对行业特点的指导作用没有比在化学工业中更显著的了，这在化学工业的分支行业——苏打生产中表现得尤为明显。苏打在玻璃、肥皂、纺织和许多其他工业的生产中都不可或缺，技术引起了一场著名的革命。吕布兰（Leblanc）提出用普通的盐低成本地生产苏打的方法，在接下来的20多年，马斯普拉特（Muspratt）和甘布尔（Gamble）分别在威德尼斯和圣海伦斯（St Helens）按吕布兰的要领生产苏打。这种生产工艺的主要缺点是会产生大量具有腐蚀性的副产品，在一种更好的替代方法即氨法制苏打工艺完善之前，需要长时期的反复试验。成功发现这种氨工艺的比利时人索尔维（Ernest Solvay）曾说：“此前任何一种生产工艺的放大从未经历如此频繁的试验，也从未花费过这么多的时间。”[2] 为完善这一科学原理的工业应用，费时达半个多世

纪。1873 年，蒙德（Ludwig Mond）把这种生产工艺介绍到英国。但即使到达这个阶段，早期的故障也还时有发生。由于设备复杂，只要有一个错误就可使整个工厂停产，成本和利润核算形同废纸。和索尔韦一样，蒙德和他的合伙人布伦纳（Brunner）也经历过成功与失败。很明显，这一切都取决于工厂的结构。蒙德虽是一位精明的企业家，能恰如其分地匡算出他的调查和发现的经济价值，但他真正的才能在于有能力把试验成果转化成批量生产。不论是对吕布兰工艺的废弃物，还是对氨法制苏打生产工艺、发生炉煤气和提炼镍的废弃物，他发明的回收硫的生产工艺都同样有效。蒙德是英国最大的现代化产业之一的联合奠基人，他在 1889 年召开的化学工业学会上的主席致辞中对工业科学家的职能作了如下定义：

……我们现在能预见到……无论技术的进步朝什么方向发展，最终往往是发明家走在时代需求的前面。他甚至会创造出新的需求，依我之见，这是人类文明史中特有的阶段。既然如此，我们便不能再说，需求是发明之母。我认为把这句话换成“对自然现象进行扎实系统的研究乃工业发展之父”[3]，可能更贴切些。

803 蒙德的话真是至理名言，企业和技术从未像现在结合得那么紧密，也许连他本人都没意识到，正是他自己把企业和技术结合为一体的。在工业界，很少有人能做到这一点，企业和技术之间常存鸿沟，例如蒙德在布伦纳的竞争对手坚持用吕布兰系统生产苏打。新技术对这种较陈旧的工业结构的冲击是显而易见的，为了自身生存，使用吕布兰工艺的制造商们只好联合起来。联合行动对老一代化学制造商来说并非第一次，在 1890 年冬天的阴暗处，动荡不定的联合碱公司曾尝到联合的甜头，被同时代人们文绉绉地称为“联合原则”。第一次世界大战对苏打的需求，延长了吕布兰工艺的使用寿命，但到 1920 年，

再也无人使用吕布兰工艺。不管怎么说，它的淘汰多少跟优势技术的出现有关。

毫无疑问，因受技术和企业的影响，一些关键行业的性质正在发生变化。不过，只要粗略看一下社会和经济的一些统计数字，便可以有效地纠正夸大的估计。现在，人们普遍认为工业革命大约是在1760年开始的。然而，克拉彭爵士（Sir John Clapham）指出，英国在乔治四世（George Ⅳ）时期，户外作业仍是资本主义工业机构的主要形式[4]。棉纺工业和钢铁工业的技术和机构已进行了改革，但其他行业还没有动静。英国中部地带和西区的金属工业的发展，论证了从独立的手工作坊向设施完备的工厂转化的每一阶段。除了棉纺业以外，这些地区的大多数行业使用的蒸汽动力机总量很小。到1850年，西区的细纱毛织业已在使用1万马力的蒸汽机，主要用于动力织机，但直到1851年以后，羊毛加工行业还在使用手工织机。对于一个还不是"工业国"的国家来说，这些印象从1851年职业普查的统计数字上得到了证实。显然，雇工最多的是农业，务农的人数达到175万。其他一些传统职业的从业人数中，家政服务业有100万人以上，建筑业需要的各种技工接近50万人。在工业方面，棉纺业实际有50万人左右，毛纺服装业有25万多人。在维多利亚时代早期的英国，裁缝是铁路雇员的两倍，铁匠比钢铁工人差不多要多50%，这一事实可以使我们对那一时期的工业特性有更准确的了解。

到1875年，工业有了更进一步的本质变化。棉纺工厂的规模平均增长30%，细纱毛织厂平均增长80%。蒸汽动力机和比较先进的机器冲击着像制袜和制靴这种前手工业的行业结构，也使得此前已有相当规模的行业——例如炼铁和造船行业的企业规模增大了。1870年，造船厂平均雇用将近600人，相当于19世纪20年代规模最大的造船厂全盛时期的总人数。旧时的手工工匠——例如车轮修造匠、马具匠、木匠、女装裁缝等继续存在，但他们越来越趋向于利用工厂为他们生

804

产半成品，即车轴、五金器具、锯木、缝线等。

19 世纪 30—40 年代，交通运输方面引人瞩目的改进，在整个工业界推动了专业化、劳动分工和集中生产。当时，雄心勃勃的约克郡服装商赫德森（George Hudson）和斯蒂芬森（Stephenson）等工程师，会同遍布英国各地的挖土工大军，斥巨资匠心独运地建成了纵横交错的铁路网，将运河各端连了起来。19 世纪 50 年代以来，铁路收入的增加部分来源于货运，酿酒行业结构受到的影响比其他行业都要大。竞争使 18 世纪的伦敦酿酒业高度集中。到 19 世纪初，当时资本高度集中的 12 家大型酿酒厂，酿制出伦敦市民饮用的大部分啤酒。铁路的出现挤垮了许多省的手工酿酒商，并促进了兼并的进程。位于特伦特河畔的伯顿，为了把产品运入市场，特别是运到在圣潘克勒斯新建的伦敦终点站，有 4 条不同的铁路线穿过城镇，在终点站下建有可存放 8000 桶酒的仓库。在制造和运输的各个环节，包括麦芽处理、用啤酒花加味、发酵、装瓶到运输，都可以看到技术的影响左右着酿酒业的发展方向。

从另一方面看，运输业的变革使市场能够扩张的酿造业和其他许多行业也受到了金属工业技术变革的间接影响。铁路将教区拆散或兼并，教区内融进了此前已分开的许多行业市场。铁路本身就是由科特（Cort）、尼尔森（Neilson）、内史密斯，还有其他一些人发动的革命的产物，由贝尔和沃恩等企业家使之更臻至成熟。1855—1885 年，生铁总产量由刚刚超过 300 万吨增长到 725 万吨，铁路、发动机和机车都是用增产的生铁制造的。到 19 世纪 70 年代，蒸汽轮船的产量也提高了。实现低成本生产钢材后的很长一段时间里，许多船只用铁板和角铁建造，因此大部分东北地区的工业呈现出繁荣景象。不过，贝塞麦（Bessemer）、西门子（Siemens）、吉尔克里斯特（Gilchrist）和托马斯（Thomas）最终推动了第二次工业革命。虽然布朗（John Brown）在设菲尔德的碾轧钢轨厂已有近 25 年的历史，钢铁工业的权威洛西

805

恩·贝尔还是在1884年说："从今以后，一定要把钢看作建设铁路的适当材料。"当时，劳埃德(Lloyd)公司的勘测人员已同意用钢作为造船的材料。因此，在1890年时已使世界交通发生革命性巨变的38.6万英里铁路线的背后，以及在那一年进出英国的7500万吨船舶背后，是技术进步引起变革的基础工业在支撑着。

企业与技术的结合最初开始于纺织和金属工业，此后扩展到工程和船舶工业，它给英国的工业化带来了丰硕的成果。在19世纪的最后25年里，无论是人口增长对食物的需求，还是发展中的工业对原材料的需求，都已超过了英国所能提供的资源范围。不过，依靠新的工业和商业体系形成的有形与无形兼有的出口收入，很容易补偿这一部分需求，甚至有相当多的盈余可以向海外重新投资，反过来，又有助于增加国家的无形收入。

英国经济性质所发生的基本变化，涉及为工业筹措资金手段的重大变化。这种变化并非突如其来。亲戚、朋友或在同一教堂做礼拜的教友之间的非正式私人借贷，在变化的初期阶段补充了利润的再投资，在一段出人意料的漫长时间里，继续满足了许多工业的需要。1825年以前，国有股份公司在工业界是很少见的。19世纪40年代，法律开始真正放宽，保留了公司的一些优惠特权和有限的法定义务。1844年和1856年的一些法令，使国有公司的登记、公司的合并以及限制股东们的责任都变得容易多了，从而将这种变化过程向前推进了一大步。自19世纪50年代以来，只有建设运河和铁路这样规模的行业需要用合股的方法筹集资金。1855年以前，几个热心于铁路建设的人已经以每米300英镑的造价投资入股。这笔资金的大部分来自地方中产阶级的储蓄。据说，甚至早在1845年，伦敦证券交易所对260种不同的铁路股票已有报价，其中一些是债券和有固定利息的公债，不过大多数是需承担风险的普通股票。

从《泰晤士报》的城市专栏里，可以看到铁路财政需求的变化。

1845年，对政府公债和大约60家铁路公司进行了报价。19世纪60年代，不断增多的煤矿、钢铁和工程等大公司，利用一些新的法律建立起新技术和增加产量所需要的公积金。不过，按这种方式组织起来的企业所占比例仍然很小。1875年，《泰晤士报》城市专栏（仍意味深长地用“公债、铁路和其他股票”这样的标题）只引述了几家电报公司和6家工矿企业。在19世纪最后25年里，事情发展得更为迅速。1900年的城市专栏已经与现代很相似，大型的、耗费资金的南非采矿企业已非常明显地把证券、铁路和电报业联合起来，但据城市专栏报道，约有14家大型酿酒公司、7家大型煤矿和钢铁公司的业务发展采用股票的形式进行。此外，50家各种各样的行业有了牌价。所有这些都表明经济多样化的范围在不断扩大，人们不断把半必需品甚至是奢侈品归入基本必需品的范畴。布伦纳－蒙德（Bruner，Mond）代表着化学工业，科茨兄弟（J. and P. Coats）代表着棉纺织工业，多尔曼－朗（Dorman，Long）代表着钢铁工业。不过，这一时期最典型的或许是像哈罗德（Harrod）、韦林和吉洛夫（Waring and Gillow）、埃文斯（D. H. Evans）这样一些大型百货商店，以及像立顿（Liptons）和五月柱（Maypole）那样的“连锁商店”。1900年，工业涵盖的范畴要比1875年的更广泛，包括日光牌肥皂、人造黄油、便宜的果酱和浓缩牛肉汁，等等。这些新产业在劳动阶层中所拥有的广阔市场，是发生在这个日益工业化的时代中社会变化的一个重要特征。

806

技术使社会有必要为工业打造一种新的金融体系，新的金融体系反过来又有助于工业组织的改变。无论如何，其中一部分要求公众出资，因为我们不会忘记，许多企业还在继续按过去非正式的、私人的渠道自己来筹措资金。对国有公司来说，这种转变的结果各不相同。在许多情况下，以前的股票拥有者或合股人采取坚定的方针维护股票的所有权，公开出售的只是投票权有限的优先股。从1894年开始，利华兄弟阳光港灯具厂的创办人利华（William Lever）始终遵循这一方

针，保持了对政策和经营的有效控制，并一直持续到他去世（1925年）。不过，其他一些公司不可能这么做，或至少没这么做过。所有权和经营权往往被分开，出现了拿薪金的经理，他们一方面与以前唯一的老板的家族成员有联系，另一方面与股东们有联系，但没有固定的模式。当然，这个新阶层几乎没有人能与那些拥有股份的以前的老板、经理的一长制权力分庭抗礼，19世纪后期和20世纪初期英国工业变迁的部分情况就是这样。这是经营方面的一个过渡期。

807

在其他一些公司，经营管理工作是受有代言人的董事会牵制的，董事会代表那些拿固定利息的股东们的利益，他们出于谨慎的本能，习惯用疑惑的眼光看待技术创新。显然，不能把所有的问题都归因于国有公司的经营方式。1903年，马歇尔（Alfred Marshall）严厉批评——不管是对是错——这些制造商的子弟没有生气，他们"满足于机械地继承父辈移交给他们的权力，工作时间很短，在获取实用的新思想方面不如父辈勤勉，因此，一部分英国的领导阶层很快就败落了"[5]。这样的结论未必公平，因为也有工人劳动熟练程度的局限带来的问题，以及外国人更有利的竞争条件，但技术变革的脚步在19世纪90年代还是慢下来了。除了资本主义体制下的职业评论家，那些持温和观点的经济学家，甚至包括一些有头脑的商人，都开始认识到旧的工业体系的优点正在消失。新的工业技术在国外而不是在英国发展了，环绽纺纱、机械采煤、机械装卸粮食及其他货物、采用钢框架结构的建筑物都来自美国，而新技术在英国工业中的应用要么非常缓慢，要么根本就没有。英国工厂实现电气化的进程非常缓慢。新的内燃发动机的先驱者主要都是法国人或德国人，飞机是美国人发明的并主要在法国发展起来。像蒙德和西门子这样一些英国主要的工业科学家都是外国血统，而且在一些重要的化工分支，例如与煤焦油产品以及石油和油脂化工相关的领域，欧洲大陆已在许多方面取代了英国的领先地位。19世纪90年代，英国的一项主要发明是帕森斯涡轮机，

这表明在纺织与钢铁领域的领先优势被削弱后的很长一段时间内，英国在造船与机械领域仍保持领先。

在谈到英国的“衰落”问题时，重要的是保持一种平衡的心态，期望在维多利亚中期世界第一的地位能永远延续下去是徒然的。不管怎样，1900 年以后出现了复兴的明显迹象。即使在经济繁荣的鼎盛时期，工业发展的不干涉体系一度把沉重的负担转嫁给英国社会的某些团体，不过国家的财富增长得如此之快，以至于这些事情很快被人们遗忘了。现今的工业结构代表着资本和技术方法的大量积累，它变得越来越死板，越来越难以适应和调整。真正严重的不是发明创造越来越少，而是能投入实际生产的越来越少。新兴工业的出现在什么程度上弥补了旧工业明显的僵化，资本和才智对“轻工业、流通和推销”领域的渗入究竟到了何种程度，[正如扬(G. M. Young)所说]要弄清楚这些情况并不容易[6]。但毫无疑问的是，工程师时代(Age of the Engineer)已经被广告商时代(Age of the Advertiser)所取代，最终的资产负债表会出现什么就更难说了。

808

同时，其他一些国家的工业潜力正在迅速发展。到 19 世纪的最后 25 年，德国、美国和法国积极实施全面工业化的方针。每个国家的环境——地理、自然资源、民族心理和传统，决定了各自工业变革的进程。第二帝国时期是法国的伟大时代，1870 年以后，其发展速度减缓，丧失了阿尔萨斯和洛林地区有价值的资源。一般来说，法国的轻工业比重工业强。即使在 1900 年，法国工业组织的典型单元也是作坊而不是工厂。继法国之后是德国发展的伟大时代。从 1870 年起，关税联盟聚敛的资金、铁路以及从洛林地区矿业和产业中获得的收益都凸显出效果，采矿、冶金、造船、工程和化学制品也在迅速发展。在美国，大规模的企业并不新奇。在南北战争前夕，一位南方评论员嘲笑他的北方对手是“满身油污的机械工和满脸污垢的技工”。与南北战争和 19 世纪 90 年代之间这一时期的发展相比，以前的发展显得微不足道。

在某些方面，新兴国家进行的工业化表现出与英国的工业化进程相同的特点和类似之处。在法国、德国和美国，运输的改革形成了较大范围经济变革的必要前提。在法国和德国，铁路网建设增加了对铁（后来是钢）的需求，为农业生产者提供了许多市场，而且运送了工业产品。新的交通运输发挥了重要作用，这一点没有哪个国家比得上美国，美国炼铁工业这一重要部门倚仗上千英里的铁路线，运送苏必利尔湖的矿石到产煤的匹兹堡。19 世纪 80 年代，横贯北美洲大陆的铁路线大功告成。到 1900 年，美国已有 20 万英里的铁路线投入运行。和一些欧洲国家一样，美国也青睐英国的技术经验，借用了英国的工程师、熟练劳动力、材料和资本。

铁路技术并不是引进技术的唯一形式。从 18 世纪中期以来，在欧洲大陆的移民中可以见到英国的工程师和手工业工人。在 19 世纪发展新英格兰的工业中，兰开夏郡的工人和机器制造者起了重要的作用。从 1820 年开始，德国的一些企业家也吸引英国的工人和资本进入他们的企业，反过来，一些德国的科学家和技术专家也在英国工业发展的若干重要领域作出了贡献。德国在发展现代化机械工业后很长一段时间内，还继续从兰开夏郡引进纺织机械。在英国给德国的礼物中，没有比吉尔克里斯特和托马斯的炼钢法更有价值的了，因为德国从德法战争中得到的战利品——洛林地区，拥有世界上最重要的磷铁矿。当开采权在 1894 年期满时，德国钢铁的产量已超过了英国。从贝塞麦、西门子、吉尔克里斯特和托马斯的发明中，法国的钢铁工业也受益匪浅，当然美国也是受益国。

809

世界各国的基础工业都是从共同的技术基础上成长起来的，受各国环境的影响会出现某些差异，例如政府和个人所起的作用在各国是不同的。在德国，政府的作用一开始就很大，后来也是如此。德国政府着手培养众多的企业家帮助发展工业，制定保护新生产业的关税，修订鼓励出口的铁路运输费率，资助发展技术教育，而且

鼓励成立煤炭、钢铁和化学制品行业的卡特尔组织，以稳定价格和缓和劳资关系。

德国、法国筹集工业资金的方法与英国、美国惯用的方法不同。虽然1867年的法国和1870年的德国曾经追随过英国，朝有限责任的方向发展，但大部分企业是通过银行筹集资金的。在法国，动产信贷公司和地产信贷银行在拿破仑三世的经济规划中发挥了重要作用。从19世纪50年代到70年代，德国达姆施塔特银行、贴现银行、德意志银行、德雷斯顿银行和帝国银行集资帮助开掘运河。因此，一些英国的观察家确信德国的工业很统一，也有很强的发展动力。总之，德国人的观点是千方百计采取措施为工业提供资金，鼓励发展工业，保护它不受激烈竞争的打击。在德国，没有反对企业联合的自由主义传统，而企业联合是19世纪最后几年美国舆论所重点反对的。在美国，那个年代的联营公司、托拉斯、控股公司和联合企业或多或少成为巨头们敛财的工具，在关税的掩护下攫取垄断利润。到1890年，关键的舆论导向促成了《谢尔曼反托拉斯法》(*Sherman Anti-Trust Act*)的通过。不过，这只是各种"革新主义者"联合推动的运动的开始。

810

到1900年，英国主要行业的企业家已经给国家留下了专业化的遗产。英国的经济按地区实施专业化，而且在这些地区内，工业的工艺程序也实现了专业化。在地区工业的创建中，技术是基本的因素，在燃料和原材料供应最便捷的地区的工业发展很快，最明显的例子是炼铁工业。达比和科特通过引进焦炭冶炼方法，将炼铁工业转移到便于开采煤和矿石的那些地区。热鼓风促进了大型的苏格兰炼铁工业的建立。在提升米德尔斯伯勒地区优势的创始人中就有沃恩和贝尔。贝西默和西门子把发展重点从类似南部斯塔福德郡的一些地区转移到沿海地区。通过使用磷铁矿炼钢，吉尔克里斯特和托马斯消除了新的钢铁制造商对米德尔斯伯勒地区炼铁工业的威胁，同时也帮助德国成为欧洲钢铁的主要生产基地。在钢铁工业方面，技术通过各种方式促进

了区域性专业化模式的实现。

同样，棉纺工业越来越多地集中到东兰开夏郡和北柴郡，而在利物浦（经营原棉）和曼彻斯特（销售成品）之间，专业化的程度又提高了一步。东北部的织布，东南部的纺纱，每一个产棉的城镇都有自己的特色，例如纺纱或织布，细纱、中纱或粗纱，衬衫料子、装饰布或服装。随着约克郡西区和东英吉利亚一些较老的竞争区域的缩小，毛织品工业也渐渐集中到西区。这里像兰开夏郡一样，产品的划分具有一定程度的区域性亚专业化，北部和西部（主要集中在布拉德福德）集中生产细纱毛线，南部和东部（主要集中在利兹）集中生产毛料衣服，哈德斯菲尔德的产品以品质好立足市场，杜斯伯里的产品则以价格低闻名遐迩。

由木材改用钢铁建造船舶的方法的变化，使造船地点从泰晤士迁移到了克莱德、泰因、威尔和蒂斯。在19世纪后期的一些大型企业中，设备仍然很分散，因为事实上这种企业并不是单一的行业，而是多个行业的集聚体，但其分支行业与它们所服务的主业关系密切。于是，纺织工程仍然集中在约克郡和兰开夏郡，船舶工程在克莱德和东北海岸，农业工程在东英吉利亚。汽车和摩托车的制造商集中在中部地区，部分是因为巧合，部分是因为这些地方已有许多能制造大量所需零件的小型生产商。

811

在整个纺织工业，专业化的过程影响了公司自身的结构。因此，当公司趋向于向更大规模发展、雇用更多职工、筹集更多资金时，各公司往往得把精力集中到范围更加狭窄的产品生产上。到19世纪40年代，许多棉花商都从事纺纱和织布，甚至出售自己生产的商品。不过从那时起，由于技术与机器变得更复杂、要求更多样化，生产过程便逐渐分开。即便到19世纪80年代，还有一半棉花公司从事纺纱和织布，但这个比例在1911年下降到30%。大型工厂因为经济运行需要所设立的后道加工部门，必定趋向于独立经营。在细纱毛织行业里，

类似的模式也愈来愈多，生产厂商往往想把自己的生产范围限制在单一的生产工序中。这里也有明显的技术原因。在织造前，细纱毛线的纺线工序要在工厂里进行，因而要单独组织生产。精梳是一道关键工序，由于使用了受专利保护的机械精梳机，而且为达到成本最低化，生产规模越来越大，精梳工序也变得专业化了。总的来说，这种专业化是工业生产质量特征的标记。为廉价市场供应产品的美国羊毛制造商的全部生产过程，往往是在单个工厂内完成的。

因此，19 世纪的纺织工业能够不受主要技术变化的干扰，并顺应形势的发展而迅速壮大起来。钢铁工业却不同，这种变化存续在整个 19 世纪。起初，新技术促成了专业化，有时候一个公司兼有几台高炉、搅炼炉和轧钢机，但一般是分开的。在某种意义上说，炼铁和铁制品行业继续保留着专业化特色，大到船舶，小到餐具，一直由不同的工厂进行制造。不过，由于“投入生产的同类液态原料的总量太大，而且要处理的单件数又很多”[7]，(如马歇尔所说）经营单位的规模不可避免地趋向于扩大。

看来，横向联合尤其是纵向联合，能同时满足经济性和便利性。起初，克利夫兰的一些工厂拥有自己的矿藏，在大部分别的地区则是共享煤和矿藏的所有权。到 19 世纪 70 年代，布兰考和沃恩在西班牙、葡萄牙和非洲拥有 12 个煤矿和矿山、1 个汽船队，雇用了 1 万名工人，并从炼铁转为炼钢。虽然推动联合的力量很强，但仍保留了很多种专业化操作。沃恩的邻居贝尔兄弟同样拥有矿藏资源，他们和多尔曼 – 朗公司联合后，又当上了冶铁工厂老板，并持续到 1899 年。正如克拉彭所说，多尔曼 – 朗公司通过这一措施，“掉过头来控制原材料，在生产钢的年代之前，冶铁工厂老板下意识地用估算煤的方法估算铁矿”[8]。有限公司体制中财政的灵活性，促进了这些出于技术方面的理由而进行的合并。斯塔福德地区较迟出现联合，一直到 19 世纪 70 年代，当地仅有单个高炉和小型炼铁厂的公司仍然非常普遍。

因此，纵向的“整合”通常在一定程度上是对技术的潜在价值的一种反映，而在纺织和化学工业中所看到的横向扩展主要出于商业方面的原因。正如克拉彭曾经说过的：“这种扩展是由于铁腕人物买断有用的邻居或可能的竞争者的结果……”[9]到19世纪末期，这种扩展日益频繁且规模巨大，出现了科茨棉纱厂、约克郡羊毛精梳厂、约克郡靛蓝印染厂、白布印花商联盟、细棉纺纱厂以及布拉德福德印染厂等厂家。这些企业都是“在特定过程中产生的联合”，成员只负责生产中的某一环节，在很大程度上反映出在激烈竞争中自我保护的必要，以免重蹈英国一些企业的覆辙。尽管没有导致破产的直接危险，但这样做的后果在于会阻碍而不是促进技术的进步。

如果有人看到了以聚集资本来压低产品价格的危险尝试，那么必定会有人为通过组织劳动力削减工人报酬的做法而感到惴惴不安，两者对自由经济和经济法令的实施似乎都具有潜在的威胁。不过在英国，劳动条件和劳动力报酬从来不存在不干涉的问题，从1802年开始就有了《工厂法》。虽然在1900年仍然有很多干重活的劳工，但行业法规纷纷生效。欧洲大陆发展较为缓慢，劳动条件领域在19世纪90年代前几乎没什么大动作。另一方面，德国人率先有了行业保险，到1884年还有了疾病和事故的保险。如果说工厂的出现使得组织工人和保障公平的报酬变得更紧迫，那么工厂也更容易做到这一点。即便如此，获得劳资双方确认的集体合同、标准工资、工作时间和工作条件的斗争仍是长期而激烈的。1890年的英国，工会主义已深入大部分技术行业。19世纪90年代，劳工开始由企业而不是由行业进行组织。到1900年，工会会员第一次超过200万人。英国劳工组织所取得的成就远远胜过了其他国家的劳工组织，但它仍不够完善，在法律上也没有保障。法国一直到1884年才取消了许多限制，1895年建立的“劳工总联合会”没能有效控制各行业。德国直到1890年才取消对工会主义的禁令，后来涌现的大批“自由工会”采取了一些实际措

813

施，在改善劳工待遇方面取得了一些进展。在美国，劳工组织的历史较长，而且官方的阻力较少，较多的问题是由经济增长的速度、移民和新建社团的社会流动性引起的。在 1881 年组建美国劳工同盟以前，这方面的记录是不稳定的。不像那些更具理想主义的前辈，劳工同盟的措施非常务实。可是，到 19 世纪结束时，即便是劳工同盟，也只有约 50 万名成员，它的工作才刚刚开始。

19 世纪的英国在疑虑和踌躇中度过。一些较老的行业——煤炭、炼铁和纺织——似乎在技术上停滞不前，美国和德国这些竞争对手仍在高速发展，行业组织往往起着阻挠而不是推进变革的作用。不过，有些新兴工业前程似锦，企业也更有活力和更具独创性。克拉彭爵士在总结当时的形势时说："英国……没有美国或德国那样轰轰烈烈的工业时代，也丧失了它一度拥有过的辉煌。不过，它秉承的保守主义已在动摇，而且在 19 世纪的最后几年中，正准备以自己的前进步伐证明它并没有衰落——尽管一些持敌对立场的人和垂头丧气的朋友常会说英国已经衰落。"[10]

相关文献

[1] Nasmyth, J. 'James Nasmyth... An Autobiography', ed. by S. Smiles. London. 1883.

[2] Cohen, J. M. 'Life of Ludwig Mond', p. 131. Methuen, London. 1956.

[3] *Idem. Ibid.*, pp. 181–2.

[4] Clapham, Sir John (Harold). 'An Economic History of Modern Britain', Vol. 1, ch. 5. University Press, Cambridge. 1926.

[5] Marshall, A. Memorandum of 1903, printed as a White Paper in 1908 (No. 321).

[6] Young, G. M. 'Victorian England.The Portrait of an Age', p. 159. Oxford University Press, London. 1936.

[7] Allen, G. C. 'British Industries and their Organization', p. 108. Longmans, London. 1956.

[8] Clapham, Sir John (Harold). See Ref.[4], Vol. 3, p. 223. University Press, Cambridge. 1938.

[9] *Idem. Ibid.*, p. 223.

[10] *Idem. Ibid.*, p. 71.

第34章 技术及其社会后果

亚历山大·弗莱克爵士
（SIR ALEXANDER FLECK）

814

34.1 引言

对那些将主要精力用来从事技术工作的人而言，很容易得出结论——与技术不同，历史是一些杂乱无章的事件。但是，如果让一位既通晓历史又偏爱技术的作者来认真探讨我们的论题，只要将历史划分为若干不连续而有规律的时期，就可以看出19世纪的最后几年是一个时代的终结。如果再继续向前看，就会进入一个技术领域（technological realm），那时即使以他们洞若观火的眼力也无法洞悉这一领域会产生什么样的社会后果。虽然内燃机、电影、无线电、农业新技术、制冷及类似装置的创意者，早在19世纪结束以前就着手研究，但进入20世纪以后，这些影响很大的发明才有了重大进展。现在一般认为，是核动力、燃气轮机、电子器件和发展这些新技术所需的新材料，将我们带到了第二次工业革命的门槛。

在18世纪中期善于思考的观察家看来，1453年君士坦丁堡沦陷后的300年间，人们的生活方式和思维方式发生了彻底的变化。教会和政府这两个孪生权威受到了挑战——教会受到科学和人文主义（science and humanism）的挑战，政府则受到不断发展的、有助于求得解放的自由精神（spirit of freedom）的挑战。在温文尔雅的怀疑主义风行的年代，面对1750年前后开始的技术革命（revolution in technology）

所引起的社会和政治生活的变化，那些18世纪有预言能力的观察家们不得不惊叹不已。人们生活方式的根本变化是受席卷西欧和北美的技术发明（technological invention）巨大冲击的直接结果，从这部《技术史》的后两卷（指第六卷和第七卷）可以看到这段历史的情况。1750年以后，人类历史上首次开始了从以农业为主的社会向以工业为主的社会的转变。本章将介绍这种变化对社会和个人的影响。

815

34.2 技术对社会和经济结构的一般性影响（1750—1850）

1750年后的100年内，可以从英国最清晰地看到走向工业社会的最初几个阶段。可以这样认为，把18世纪中叶的英国描述成一个农业社会，对其商业活动的重要性而言有失公正。英国的商业冒险家为工业的迅速发展提供了基本条件，他们开拓新市场，拥有资本，而且最重要的是他们具有进取的精神和承担风险的意愿。朗达谷的铁器制造商培根（Anthony Bacon）、对罗巴克（Roebuck）生产硫酸的风险事业与戈登（Gordon）苔色素的生产都给予支持的格拉斯哥“烟草巨头”格拉斯福德（John Glassford），都是最早的和最杰出的商人。在战争年代中，商业处境艰难，尤其是殖民地美国抵制英国货，英国商品无法向美国出口，促使英国商人把注意力转向工业的商业发展，而且给了他们利用积累起来的商业资本的新机会。拥有世界海运业的绝对领导权和具有灵活的银行制度，这是英国获得财富的原因。在劳埃德（Edward Lloyd）的咖啡馆里保过险的英国商船上的货物，大多是英国本土和殖民地农业经济的产品和副产品。在与西印度群岛的大三角贸易中，运向非洲的五金器具和纺织品主要由家庭手工业生产。通过给农闲期间的农民及其家庭成员提供就业的机会，家庭手工业允许不那么经济的小农生产存在，形成了农耕经济的基本特征。

工业化在初期阶段进展缓慢。在19世纪的前50年，一些人口增多的新城镇全都集中在盛产煤的地区。同时，交通运输业的改革、运

河系统的发展和随后建起的铁路网，将一个个工业城镇连接起来，并提供了适合发展的一系列场地，所有这一切使原材料和成品的进出畅通无阻。兰开夏郡南部、泰恩河流域、中部地区和克莱德河流域的情形，给人留下工业区的深刻印象。建筑物多的地区已快要连起来了，余下的田地也笼罩在烟雾之中。

816

只要能理解飞机使人们远程旅行的观念发生改变，我们就可以体会到铁路对19世纪初期的人们意味着什么。在18世纪，乘坐四轮大马车从伦敦到伯明翰要花3天时间，到曼彻斯特要用4天半，到爱丁堡则要将近一星期，而且在旅途中可能发生掉车轮或翻车事故。有了铁路以后，横穿全国已不再是富翁和有闲的上层阶级的特权了。此外，随着1840年希尔（Rowland Hill）的一便士邮资（penny postage）的出现，能读会写的人之间实现了远距离的私人通信。1839年以前，一年之中约有7600万封信件由英国的邮车传递。实行一便士邮政制的当年，信件激增到1.69亿封。10年以后，每天邮寄的信件有100万封，其中80%的信件是由德·拉·鲁（Thomas de la Rue）的机器捆装后运送的。

虽然通信有了较大的发展，但工业生产仍然相对地集中在某一区域。这不单是因为社会结构仍以农业为主。新兴城市的产业工人来源于小农户、农业劳动者或手工织布工人，他们或是因《斯宾汉姆兰德法》（*Speenhamland Act*）的圈地运动而离乡背井，或是由于纺织机的出现而被迫进城谋生，有些孩子带着对故乡童年生活的眷恋随父母移居城镇。在一些地区，一度繁荣的非农行业消失了。由于木材资源的减少，以木炭为高炉燃料的萨塞克斯冶炼厂无法与南威尔士的以煤为燃料的钢铁工业竞争，萨塞克斯冶炼厂到1796年只剩下一个高炉在维持生产。当西区取得羊毛生产的优势时，东英吉利亚和西部地区的羊毛生产逐渐减少，尽管皮革贸易在某种程度上取代了羊毛生产而发展起来。

兰开夏郡、南威尔士、布莱克地区、泰恩和克莱德等地的趋势

是坚定地朝着工业化迈进。在采煤和金属采掘，特别是在新型纺织机的应用方面，蒸汽动力使生产率得到了空前提高。例如，据估计，1818—1823年，在英国投入使用的织布机已从2000台增长到1万多台，1830年增长到6万台，3年后又增长到10万台。依靠长期经验建立起来的化学工业，开始利用主要在18世纪积累的重大科学发现和定量操作的成果。用普通的盐合成苏打的技术已投入批量生产，并极大地促进了硫酸的产量。1806年，英国生铁的产量在25万吨以上，10年内增长了一倍，在不到20年的时间里翻了将近两番。同时，令人感到意外的是，铁制品仍在小工场中生产，甚至外发至乡村作坊进行加工，铁钉、链条和小型手用工具等产品更是如此。当内史密斯（Nasmyth）要求赴沃灵顿参观斯塔（Peter Stubs）的名牌锉刀生产时，他出乎意料地被告知并没有这种工厂，锉刀的生产是把金属材料分发给柴郡和兰开夏郡的家庭手工业作坊完成的。

817

国民生产总值的提高并没有使百姓受益。到1835年，英国大约还有20万名手工织布工人，他们穷困潦倒，生活非常艰苦。每逢物价上涨，他们的收入就会大约下降1/2或2/3。在纺织工业方面，妇女和儿童成为既廉价又合用的劳动力，而男人有时会面临不能成为全家主要经济支柱的羞辱。

1750—1850年既是波及面很广的转型期，也是一个充满着希望的时期。但与此同时，城市工业的兴起使农村经济发生转变，由此受到冲击的人不得不承受极大的痛苦。

34.3 1851—1900

没有任何事件比1851年万国博览会更能象征19世纪中叶进步人士的乐观主义。这是第一次举办国际性博览会，也是首次向英国社会各阶层人士展现新工业时代的巨大潜力，显示出英国已成为当时世界上最重要的工业国。女王在她的日志中写道：“上帝保佑我最亲

爱的阿尔伯特（Albert）和我亲爱的祖国，今天她已显得那么的强大。”她在日志中对外国展品作了有趣的评论，表达了她对法国欧比松及哥白林产的华丽花毯和法国塞夫尔产的瓷器的钟爱，感叹“这里展出了许多连法国人自己都担心会无法出彩的机器”。对19世纪初法国工业发展的缓慢步伐，女王流露出悲观态度。但是，她这样评价美国的展品：“美国有一些非常奇妙的发明，例如古塔胶上的小地图——收割机，等等。”当时，针对收割机的其他评论则更为坦率：“麦考密克（McCormick）先生的收割机已经使英国的农民相信它的经济效益……它在农业上发挥的作用会与制造业中的珍妮纺纱机和机动织机同等重要。”总体来看，美国展品的轻便和灵巧给人留下重实用、轻奢华的深刻印象。在技术博览会上，美国参展商表明他们已出色地掌握了机器时代制造业的发展路线。当时的一位德国观察家布赫尔（Lothar Bucher）提请人们注意：“落地式大摆钟设计巧妙，还有质朴轻便的胡桃木外壳。从简单的木制条凳到安乐椅，都没有那种华而不实、会划破手和衣服的雕刻，没有现今流行的那些哥特式椅子高耸在肩膀之上的直角。我们所看到的美国家庭陈设都以使用舒适为目的。”[1]

1851年万国博览会的成果之一是，惠特沃思（Whitworth）在机器制造业中引入的标准化和精密度理念第一次得到世界的公认。他竭力宣扬“拥有合乎标准的工作平台的巨大重要性”，虽然这一工作可以追溯至更早的时期，但直到19世纪下半叶，它的意义才被人们充分感受到。惠特沃思及与他同一时代的人制作的精密机床主要用来生产其他机器。1856年，引进了贝塞麦转炉和西门子平炉炼钢法以后，钢价下降，极大扩展了这些机床的类别。从1851年万国博览会以后，许多行业的制造商开始购买机床，其他批量生产消费品的行业也竞相购买机床，远远不止纺织业。

人们很容易学会使用“批量生产”（mass-production）这一术语，却很难领悟到“批量生产”代表着制造业革命的开始。批量生产

是美国对技术发展最伟大的贡献。“底特律自动化”直接来源于充分象征并体现美国传统精神的亨利·福特T型汽车（Henry Ford's Model T），如果追溯得更远，则是从惠特尼（Eli Whitney）在康涅狄格州创办的轻型武器工厂传承下来的。惠特尼在1793年发明的轧花机使棉花种植场的规模迅速扩大，影响着美国南方各州白人与黑人的生活，并通过奴隶制问题和南北战争最终影响到美国北方各州。通过推行后来被英国人熟知的“美国作业法”，天才的惠特尼再次对技术作出重大贡献。采用这种作业法生产的部件具有很高的精密度，因而使所有零配件互换成为可能。高精密度的新机床与在生产过程中采用的“美国作业法”相结合，为进行大批量商品生产提供了必要的条件，从而满足了急剧增长的美国国内市场需求。豪（Elias Howe）和胜家（Isaac Singer）的缝纫机是美国早期进行批量生产的典型产品。到1860年，胜家的欧洲代销处在大西洋东边这一头售出的缝纫机数量，已超过3000名推销员在美国国内市场的推销总数。

如果没有从英国进口的机车和铁轨建立起遍布美国的铁路网，美国的工业化进程就不可能如此迅速。接下来，南北战争极大地促进了美国工业化的进程。马其顿的步兵方阵、古罗马军团、英格兰弓箭手和克伦威尔（Cromwell）的铁甲军都曾对军事技术作出了决定性的贡献，但在南北战争中，美国北方人为了战胜对手，第一次把所有的技术力量动员起来，开始有了武器、弹药、军服和靴子的批量生产，而且第一次靠铁路运输罐头食品来满足军队的需要。曾设计能在水面上浮行、配有装甲炮组的“班长号”（*Monitor*）的埃里克森（John Ericsson），在1862年呈给林肯（Lincoln）的一份著名的紧急公文中写道：“总统先生，这样的时机已经到来了，支持我们获胜的将不再是军队的数量，而是精良的武器。只要恰当应用机械设施，您就完全有把握战胜敌人。南方各州在机械方面的劣势很大，事实将证实，如果您能最大限度地利用我们在机械方面的资源，不用再征募一人就能战胜敌人。”

英国出口的铁路设备对美国的发展作出了贡献，同时给英国制造商带来了财富，但给英国的农业生产带来了完全相反的结果。美国的铁路向西部扩展，中西部广袤的大草原被开垦为耕地，农业机械克服了劳动力不足的困难，农业生产变得有利可图。这样一来，美国的粮食价格便宜了，只要花低廉的运费就可以把谷物运到美国东部沿海口岸出口。19 世纪 70 年代，海运货船蒸汽机的改进提高了横渡大西洋的谷物运载量，直接导致英国农民破产。从那时起，英国不可避免地向工业社会(industrial society)转化。

铁路的出现也在其他地方产生了重要的影响，发生在亚洲和欧洲的两个大相径庭的例子必能充分予以说明。印度开始建立铁路网时，印度人担心在旅行期间会发生种姓混乱，而且铁路也是爆发印度反英暴动的一个促成因素。欧亚混血儿应被印度文化同化还是被西方文化同化这个现代社会难题，部分地可追溯到印度开始建铁路的那个年代。早期，印度的铁路完全靠英国的技术人员管理，他们中的许多人和印度妇女结婚。在德国，铁路时代的到来把铁矿和煤第一次在经济上连接起来，"铁血"(blood and iron)时期来临了。到 1866 年，普鲁士取代奥地利成为讲德语民族的领导者。4 年以后，俾斯麦(Bismarck)找到借口发动了反法战争，实现了他的德国一体化的想法。依靠在轻武器上的技术优势，普鲁士军队取得了军事上的胜利。除了训练有素的普鲁士士兵配备了经过改进的后装式步枪，还兼有沙恩霍斯特(Scharnhorst)和格奈泽瑙(Gneisenau)建立的军官团和总参谋部，其军事实力远远超过了以农业为主的法国军队。[1] 德国的一体化解决了开发洛林劣质磷铁矿的技术问题，这是 19 世纪的后 75 年中具有世界意义的重大事件。英国在 1879 年发明的吉尔克里斯特－托马斯(Gilchrist and Thomas)工艺，使得使用洛林和卢森堡的铁矿石生产钢首次成为可

820

1　不过，1867 年发表在《艺术学会会刊》(*Journal of the Society of Arts*)上的一篇文章把法国后膛步枪说成比欢庆胜利的普鲁士士兵使用的射程为 400 米的撞针枪更先进："现在习惯于使用后膛枪的法国轻步兵用这种枪取得了很好的战绩，尤其是在 1000 米范围内……"

能。英国早期在钢铁生产中的领先地位，很快被一个强大的充满活力的德国所动摇。到 1895 年，德国的钢产量超过了英国。

从 1870 年起，高速的工业化进程使德国很快赶上并超过英国用大约一个世纪才达到的水平。德国人拥有组织能力强的名声，工作有条理，不畏艰难，乐意采用他们赞赏的新技术。德国银行仿效佩雷尔（Péreire）动产信贷公司这种筹集工业资金的方法，有效地为工业解决了资金问题。与许多前任创业者一样，德国的企业家受益于他们的前辈建立的最新工艺，而不必承受从发展早期传下来的陈旧设备的负担。与英国相比，德国生产车间的相对短缺使技术教育学校的创立至关重要。学生并不是单纯在车间和工厂从事实际操作，而是主要进行科学理论（scientific theory）与技术训练（technological training）相结合的学习，这种做法后来在科学与工业结成联盟时显得尤为重要，并带来了丰厚的回报。此外，英国的技术教育学校不能与法国的综合工科学校（1794 年）相比，更无法与德国在 1820—1830 年数量激增的技术学院相比——这些学校招收来自洪堡（von Humboldt）实科中学的学生，到 19 世纪末期便已发展成著名的高等技术学校（边码 786—788）。

821

虽然英国的科学家在一些纯理论的研究领域里作出了显著的贡献，但在李比希（Liebig）的弟子、德国人霍夫曼（Hofmann）成为伦敦皇家化学学院的教授以前，英国在化学研究领域没有什么成果可与李比希、维勒（Wöhler）、本生（Bunsen）、科尔比（Kolbe）和凯库勒（Kekulé）主持的化学研究中心相提并论（边码 269）。1875 年，霍夫曼在法拉第演讲时，高度评价设在吉森的一所规模较小的大学里的李比希实验室，称它为“标志着化学科学史上的一个新纪元”。如果把诺贝尔（Alfred Nobel）约于 1873 年在阿迪尔炸药厂里建立的一个不大的实验室除外，那么，在由本生在海德堡培养的瑞士人胡尔特（Ferdinand Hurter）于 1892 年在威德尼斯创建以他的名字命名的实验室以前，英国就没有组建过工业化

学研究实验室。在美国，可以看到这种类似的发展趋势。早在1902年创建第一个正式的研究单位以前，杜邦（E. I. duPont de Nemours）化学工业公司就已存在了100年，它的创办人伊雷内（Éleuthère Irénée）还是定量化学主要创始人拉瓦锡（Lavoisier）的弟子。

科学（Wissenschaft）是德国人的一种特别的概念，它是指人类知识各个分支的系统化组织。在英国，牛津和剑桥与伦敦的大学学院不同，在1850年和1851年之前，没能运用作为大学的权利，为学习自然科学配备正规师资。多数英国的公立和文法学校同样效仿阿诺德（Arnold）在拉格比的做法，把人文学科（humanities）作为初等教育的重点（边码784、边码792）。阿诺德及其效仿者的目标是要在工场主、商人、农场主的子弟中培养一种“信仰基督教的绅士”素质，从而能跻身于正在崛起的专业人才行列，这对管理一个工业化国家及其殖民帝国的复杂机构是必要的。源自柏拉图传统的那种轻视工商业的偏见依然存在，这个传统认为注重金钱和技巧性的劳动是粗俗和有失身份的。这种公立学校体系在培养出一流行政官员的同时，也产生了不利于工业发展的教育思潮。工业企业家的第二代或第三代传人往往不能或不愿意像先辈那样专心致力于生产和经营，他们热衷于社交活动，急于确立自己的社会地位，原本可用于新的风险事业上的精力却耗费在许多公益活动中。与此同时，美国的工商业职场没有这样的禁忌，德国则因为有严格的等级制度，人们不可能产生弃商从政的非分之想。结果，一大批有活力、有能力的人才源源不断地涌入这些后起国家，而没有在英国工业界谋求发展。

822

在19世纪最后25年中，欧洲的技术创新中心（technological initiative）转移到了德国。在很大程度上，德国的优势归因于教育体制的成果。何况，英国当时的技术落后于德国，特别是在电子工程、有机化学工业（尤其是染料）以及汽车工业等新兴工业领域。19世纪90年代，德国、法国和美国在汽车工业方面处于领先地位。不过，英

国掌握了至少两项重要的技术发明——帕森斯（Parsons）的汽轮机和邓洛普（Dunlop）的充气轮胎。从政治上看，当时德国工业发展最重大的成果是以规模宏大的克虏伯（Krupp）工厂和巨大的造船厂为代表的军事工业的进步。装有更大威力舷侧炮的新战舰，可以在一夜之间摧毁敌人的一个舰队——1862年，南部联邦的“梅里梅克号”（*Merrimac*）战舰在汉普顿水道突破北方联军封锁的事实第一次证实了这一点，英国长期以来引以为荣的在舰艇数量上的优势已不是最重要的了。

总之，在19世纪的后半期，工业化已趋成熟。批量生产使消费品既便宜又普遍，而且可能以前所未有的规模为军队提供军服和装备。工业产量的提升和研究机构的增多，在德国至少是建立在完善的技术教育基础上的，这种增长与更为系统化的社会管理平行发生。城市化进程很快，到1900年，英国和德国的城市人口都超过了农村人口。1890年以后，向美国西部移民失去了动力，向城市移民成为人口流动的主要特征。

34.4 人口的增长

大约在18世纪中期，西欧和北美一些国家的人口开始有了明显的增长。1800年以前的统计数字并不可靠，从19世纪开始，才有可能准确评估人口增长的速度。如果以1800年的人数为基准（100），下表说明了人口的变化情况：

人口的变化（以1800年人数为基准）

年代	英国	法国	荷兰	比利时	西班牙	瑞士	美国
1800	100	100	100	100	100	100	100
1850	261	130	141	147	125	133	438
1900	395	142	236	223	157	183	1434
1950	507	152	459	287	233	261	2843

欧洲移民大量迅速增长是北美初期人口增加的原因。在“旧大

陆”，大多数西欧国家的人口增长很快。相比之下，法国的人口增长比较慢，出现这种状况的原因至今还不十分清楚。

1831年人口普查报告的前言阐明了英国官方当时的观点——由于新的工厂尤其是纺织工厂雇用童工，使儿童有了赚钱的机会，因而鼓励了早婚，并直接促进了人口的增长。一些以纺纱工业为主的城镇雇用的童工数量最多，这些城镇人口的惊人增长为上述观点提供了证据。奥尔德姆的人口在1760年约有300—400人，在1801年则有2.1万人，20年后增长到3.8万人。从1801年起算的20年中，博尔顿居民从2.9万人增加到了5万人。斯皮哈姆兰地方行政官从1795年开始推行的用部分税收补贴工资的做法，也被认为对人口增长起了促进作用。

显然，人口的增长主要受到纺织技术的影响，至少在英国是如此。不过，对已有统计资料的深入研究似乎表明，大约从1750年开始，除了法国以外，英国和西欧一些国家的出生率保持相对稳定，一直到19世纪70年代才出现下降趋势。由于公共卫生条件有了很大改善，人口死亡率下降了，人口出现了惊人的增长。也就是说，技术确实影响着人口的增长，但不是纺织技术，而是医疗技术。

法国的情况虽然特殊，但并非唯一，而且有蔓延的趋势。法国出生率的下降可以追溯到18世纪末期，就我们所能判断的，这是由于严格执行了限制家庭人口政策的结果。当时的法国经济以农业为主，如果将有限的土地进一步细分，农民家庭的生活保障就会面临威胁。出于这种担心，法国立法规定限制按子女人数立遗嘱的自由。尽管法国是一个信仰天主教的国家，但从法国大革命开始，自由思想的传统得到发展，这使得广泛实行限制家庭人口的政策能够得到支持。另一方面，英国没有采取降低正常出生率的措施，允许童工进厂干活的学徒工制度使得早婚的倾向更加普遍。从这个意义上说，工业环境虽然没有刺激出生率的增长，但起码为不积极限制家庭人口创造了条件。这或许便是19世纪的人口概况。不过，从19世纪70年

824

代开始，在工业化程度比较高的一些西欧国家和美国，出生率出现明显下降。由于经济和社会的一些原因，尤其是妇女解放运动的发展，小家庭变得普遍了。

在这个时期的大部分时间里，与出生率的变化相比，死亡率（尤其是婴儿死亡率）的明显下降更显得意义重大。医疗技术从18世纪开始有了进步，医生被看作科学和实践知识在不断增长的职业人士。医院的数目不断增多，除了治病以外，还为妇女接生。种痘和接种、麻醉剂和抗菌剂都能使死亡率下降，同时由于弗里（Elizabeth Fry）和南丁格尔（Florence Nightingale）的改革热情与推动，护理专业终于得以创设，取代了当时甘佩斯（Gamps）夫人常常带有危险的看护工作。此外，查德威克爵士（Sir Edwin Chadwick）倡导的改善公共卫生条件和个人卫生状况也同等重要。

1800年出版的由陆军上校库特–曼宁汉姆（Coote-Manningham）编写的《步枪部队条例》(*Regulations for the Rifle Corps*)中有这样的规定："士兵穿着要合身整齐，头等重要的事是保持清洁（清洁意味着健康），还要有一定程度的自豪感……" 杰克逊（Robert Jackson）无疑想到了需要改进的地方，他在1804年写道："直到最近，尽管士兵从头到脚都穿戴整齐了，但如果他的军服和镶边沾满了尘土，将被要求去清洗干净；如果头发被油和面粉弄得又乱又脏，将被要求去梳洗……"[2] 库特–曼宁汉姆的条例是建立在伙伴关系、人道和常识的基础上的，反映了穆尔爵士（Sir John Moore）的主张，[1] 比起当时主要依靠鞭笞和悬吊来强化军纪的军规要强得多。不过，一直到19世纪60年代，由于巴斯德（Pasteur）的努力，人们对不洁和疾病之间的内在关系才开始有了比较充分的了解。同时，有了便宜的棉布衣服和肥皂以后，人们的清洁状况得到进一步改善，传染病也减

825

1　有意思的是，穆尔爵士年轻时曾在戈登的苔色素工厂工作过，这家工厂后来由他的姨父麦金托什（George Macintosh）接手[3]。

少了。公共用水的水质提高，则使霍乱、伤寒这类致命疾病的发病率大大降低。

34.5 人口的迁移

现在有必要考查一下19世纪人口大量迁移的原因，这种迁移在某种程度上成为促使地方人口增长的因素。由宗教或政治迫害引起的人口迁移，不列入考查范围之内。这种移民追寻的是更多的自由，与其说他们影响了技术进步，不如说技术进步影响了他们。只有少数国家未能从向难民敞开大门中获益。

与我们讨论的主题密切相关的是爱尔兰由于饥荒而造成的移民问题。在18世纪结束以前，爱尔兰人渡过海峡来到利物浦，希望能在兰开夏郡的纱厂里找到工作，或者成为日益扩大的运河系统中的“船舶驾驶员”。在1846年发生饥荒以后的那些可怕的岁月里，每年将近有20万名爱尔兰人离乡背井，横渡大西洋来到美国，满足了美国对劳动力的大量需求。美国南北战争结束后，更多的爱尔兰人离开家乡参与修建太平洋联合公司的铁路线，这条极有价值的路线与太平洋中央铁路公司的线路连接起来。华人苦工(Chinese coolies)也是修建这条铁路的劳力，据说修建这条横贯美洲大陆的铁路，东段靠欧洲人，西段靠华工。

技术史研究人员更感兴趣的是其他向美洲新大陆移民的运动。这些移民可分为“志愿的”和“非志愿的”两类，前者是受到新开发地区有应用技术机会的吸引，后者往往是由于技术更新造成了国内工厂的破产，也有纯粹迫于人口压力而移居国外的。但是，这两者的界限不容易划清。正像很难断定今天的英国移民是受到不发达地区的吸引还是不满意本国的条件，科尼什矿工移民的动机是混杂的。他们与其他无数移民一样，无疑受到1849年在加利福尼亚发现金矿的诱惑。这些“杰克表兄弟”(在美国，人们对科尼什人的

称呼）的技术是如此高超，以致他们的本领被载入《淘金者》(*forty-niners*）这首歌中：

他们来自遥远的国度
来自山丘上的弗吉尼亚，
你永远不会胜过杰克表兄弟
那敲打在钻头上的锤击。

在你们这些其他的爱尔兰人中
尽你所能地公正，
因为没有人能够
比得过善良的老科尼什人。

另一方面，主要在1825年到1850年期间，大批炼铁工人出人意料地从南威尔士移居到德国和瑞典，而当时英国也非常需要这些技术工人。相比之下，在不列颠群岛凯尔特周边的海草灰工业（kelping industry）的衰退，则是因为有了用盐来合成碱的工厂，这对原本就不稳定的经济来说无疑是雪上加霜。一些德国手工纺纱工人在与英国纺纱工厂的竞争中破产了，他们渡过了1848年前庄稼歉收和贸易不景气的难关，到美国寻找发展前途。在英国多塞特做纽扣的手工业工人——1793年，仅在沙夫茨伯里就有约4000名妇女和童工从事这个行业——使这一地区呈现一片繁荣景象。但阿斯顿（John Aston）的纽扣机投产以后，手工制作的牛角纽扣被挤出了市场。有一个时期，很多沙夫茨伯里居民面临着饥饿的威胁，直到当地有地产的富人帮助几百人移居美国和澳大利亚，情况才有所好转。当沃里克郡贝德沃思的教区居民不能再靠生产花边维持生活时，曾先后当过海员、士兵和牧

师的贝莱尔斯（Henry Bellairs）[1]资助一大批居民移居到新西兰。当丝绸贸易的不景气打击了邻近考文垂地区的丝带编织工时，这个城镇的人口在1861年到1871年期间减少了7%，不过许多人留下来从事新兴的轻工业生产，轻工业从此在那里繁荣了起来。

无论是从数量还是用历史的眼光看，向“新大陆”移民是这一时期最重要的人口迁移。美国是一个没有政治和宗教偏见的自由国度，极少存在来自阶层差异的障碍，成功的企业家在美国会赢得人们的尊重，不会招人妒忌。这些因素综合起来，就像今天一样，使美国对移民具有很大的吸引力——那里辽阔的国土和丰富的自然资源，激励着精力充沛、富有创造性的移民去实现自己的梦想。

827

34.6 技术向欧洲以外地区传播

人口迁移推动了技术向北美的传播，同时技术的传播也促进了人口的迁移。美洲是一个适于推广使用机器的地方，劳动人口零星地分布在广阔的地域，因而一直存在劳动力短缺的问题。在拥挤的英国，一部分工人对机器的出现刚开始是既害怕又抵制，而美国人对机器的出现持十分欢迎的态度，乐于接受技术创新（technological innovation），为技术的迅速发展提供了理想的环境。美国工人为了自身的利益至今仍钟爱机器，英国人则由于早先存在但受到压制的勒德主义（Luddism），容易对技术的不断发展产生恐惧心理。当然，这并不表明19世纪的移民是促使美国技术扩张（technological expansion）迅猛的唯一原因。尽管使用英国设备和英国模式修建的铁路克服了远距离交通的困难，但正如我们已看到的，这种技术扩张的因素中还有美国本地人才所具有的几代相传的移民传统。凭借这种本土机械的发展势头，美国从1750年起就大量向英国出口生铁，同时美国制造快

1 在特拉法尔加，作为一个15岁的“一等志愿兵”，贝莱尔斯对战斗有着不同寻常的判断力，因而获得第十五轻骑兵兵团的军衔，随后又取得了牧师资格。

速帆船的造船工业进入了全面兴盛时期，甚至在蒸汽机取代了船帆以后，仍然垄断着像茶叶这类商品的运输。19 世纪 40 年代，美国制造的机车开始在出口市场上与英国制造的机车竞争。

美国东北部几个州日益增强的工业化，与南部的农业经济形成了鲜明的对比。在南部，财富集中在“棉花大王”手里。爆发南北战争的原因是复杂的，但不论具体原因是什么，两种经济（two economies）的悬殊是产生矛盾的潜在根源。奴隶劳动力被看作南部邦联各州经济的基本支柱，南方各州不愿默认自己经济的垮台而准备脱离联邦。经过了将近 4 年残酷的国内战争，才在以农业为主的南部利益与以工业为主的北部利益之间作出了最后的抉择。

同时，19 世纪 60 年代是技术史（technological history）上的一个关键时期。美国南部的黑人意识到自己已成为两种经济冲突的焦点，而他们的非洲同胞注定会在近期内把石器时代的古老技术直接提升为现代工业社会的技术。对原材料的需求刺激了未开发地区的发展。在北非沙漠地带，采矿和挖掘技术在开采磷盐岩矿藏中发挥了作用，对南非矿藏的开采很快使约翰内斯堡和金伯利从贫困地区变成了工业城镇。肥皂工业需要的棕榈油产自西非，橡胶产自巴西，后来又取自马来亚，石油是在沙漠地带开采的。这些偏僻地区的人们都是第一次接触到西方的机械化人类文明（mechanized civilization），渗入世界欠发达地区的还不光是工业提炼方面的技术。在以后的年代里，苏联全面依靠西方技术完成一系列五年计划。列宁（Lenin）在全俄罗斯苏维埃第八次代表大会上的报告中提出“共产主义就是苏维埃政权加全国电气化”，无疑向世人宣告了技术发展的重要性。西方的制造技术很快融入日本，到 1914 年，日本已成为纺织品的净输出国。从长远的观点看，技术进步的必然后果是——技术输入地区制造业的崛起会引起一些传统市场的消失，但同时也趋向于迫使老的工业国向新的领域应用其技术发明和发展企业。

828

34.7 技术对人类状况的影响

我们已经考察了技术对一些西欧国家和北美社会结构的影响。现在，让我们来考察一下它对人们日常生活的影响。作家们从不同角度描写了19世纪的英国工业革命，例如尤尔（Andrew Ure）倾向于把它看成黄金时代的曙光，恩格斯（Friedrich Engels）则认为英国工业革命带来了道德败坏和堕落的噩梦，只有通过暴力革命才能结束这场噩梦。

毋庸置疑，恩格斯在1884年的《英国工人阶级状况》（*Conditions of the Working Class in England*）中所描述的情景至少有部分是真实的。比恩格斯著作早3年出版的查德威克（Chadwick）的《关于劳动阶层卫生状况的报告》（*Report on the Sanitary Conditions of the Labouring Population*）提道："和霍华德（Howard）（在关于英国监狱的报告中）描写的情况相比，劳动阶层的现状更为糟糕，肉体更受折磨，精神更混乱……这一切可以从住在利物浦、曼彻斯特或者利兹地下室的工人身上以及在伦敦的大部分地区看到。"但恩格斯关注的是写成立论缜密的政论性文章，这妨碍了它被公认为完全可靠的证据。

由于行政管理跟不上工业化发展的进程，从英格兰农村或爱尔兰来的劳工纷纷涌入那些未经规划的新城镇，结果造成住房紧张，卫生条件恶劣。阿尔伯特（Prince Consort）对此非常关注，亲自设计了可住一家四口的工人住宅，现在在肯宁顿公园还可以见到这种住宅。到1851年万国博览会举办以后，这一带的住房都重建过了。然而，工业革命并非是形成恶劣居住环境的唯一原因。根据查德威克的证据，农村的住房条件并不比工业城镇的好。

829

对于当时矿山和工厂使用女工和童工这类令人发指的行为，我们不能完全归咎于工业革命。在今天看来，这种状况无须夸大便难以忍受，但这种丑行——与其说是残酷，不如说是冷漠——更公正地说应由当时的整个社会来承担责任。那个时期，其他方面也存在同样应受到谴责的

弊病，并非简单地制止工厂主阶层不规范用人便能解决。自18世纪开始，家庭主妇就雇用小男孩打扫烟囱了。在1724年时，笛福(Defoe)曾称赞约克郡的裁缝在家里雇用童工："在各方面还需要别人照料的4岁孩子，却可以靠自己的双手来维持生活了。"在农业生产中和船上，童工雇用现象已十分普遍，而且很早就开始滥用学徒制度来虐待童工了。

用今天的眼光看来很悲惨的童工境遇，早在建造工厂前便已普遍存在。工业革命的特定作用打破了雇主亲自管理雇工的直接关系，由工厂的监工代替了雇主。这样一来，问题就转化为是直接管理还是间接管理更为残酷。并非所有工厂主都犯下这种不人道的罪行。以格雷格(Greg)在斯泰尔开办的工厂为例，这家工厂从利物浦雇用了70—80个童工，他们受到了很好的照顾，格雷格一家亲自负责他们的教育，包括唱歌和美术。但是，即使在斯泰尔地区，童工每天干活都在12小时以上，星期六也不休息。

许多本身是贵格会教徒或信奉新教的工厂主都真心地关心他们雇用的工人，并努力改善工人的劳动条件。根据英国的《考试法》，新教徒是不允许参加大学和政府机构考试的，但他们在工商界找到了发挥才能与精力的用武之地。更为重要的是，他们构成了中产阶级中受过良好教育的那一部分。贵格会教徒始终重视教育，尤其重视技术教育，佩恩(Wiliam Penn)在给妻子和孩子的信中说明了这样做的重要性。他在1682年写道："为了使他们的学习不受影响……并学到实用的知识，好比真理与神的统一……我介绍了数学中实用的部分，例如建房子或造船、测量、勘测、日晷测时、航海等，但我尤其侧重介绍农业知识。"在此以后的几代贵格会教徒，都在认识到教育的重要作用的同时，对农业的关注有所减少，却更多地关心工业、商业和金融。在科尔布鲁克代尔的工厂区里，达比家族(the Darbys)和雷诺家族(the Reynolds's)建造了住宅和学校。近年来，这个传统得到伯恩维尔的卡德伯里家族(the Cadburys)、约克的朗特里家族(the Rowntrees)

830

的支持。个人榜样也发挥了作用。为了克服酗酒，钱斯（Alexander Chance）在奥尔德伯里自己的化学工厂里成立了戒酒俱乐部，并带头发誓戒酒。与贵格会教徒和新教徒的教育和宗教背景相比，欧文（Robert Owen）是开明雇主中最有名望的，他9岁离开学校，全心全意信奉基督教教义。他在新拉纳克的工厂里雇用了几百个10岁以上的孩子，并给予他们文明和人道待遇。

虽然贫困不是什么新现象，可是城区人口的增长却使贫困更为明显了。汤普森（Benjamin Thompson，拉姆福德伯爵）因慈善活动备受各界称道，他以巴伐利亚候选管理者和顾问的身份在慕尼黑创办了“工业之家”，试图解决饥民的果腹问题，广泛建立了以拉姆福德命名的施粥所，并都配备了拉姆福德烧水壶和烤炉。鉴于这些对贫民作出的特殊贡献，1797年2月24日，拉姆福德被选为“改善贫民生活条件、提高贫民生活质量协会”总委员会的终身委员。这家慈善机构于一年之前由贝尔纳爵士（Sir Thomas Bernard）、威尔伯福斯（William Wilberforce）和埃利奥特（Edward James Eliot）在德拉姆主教（Bishop of Durham）领导下创建，并受到王室的资助。在总委员会的委员中，至少有21位议会议员。总委员会的重要作用体现在努力系统地收集有益于贫民的真实资料呈报给议会。贝尔纳爵士对公众演讲时一开始就讲道：“我们要调查所有涉及贫民的问题，并促成他们的幸福，我们要将科学……”从已发表的报道中，可以看出这一协会所关心的事务是多方面的，继“米林顿（Millington）先生的来信介绍了保管土豆的方法”之后，就有了“预防传染性发烧的海加思（Haygarth）博士的规章”。早期的统计方法可以清楚地提供证据，委员会的某些委员希望能访问每一个在斯皮特尔菲尔德接受过慈善机构救济的家庭，“调查他们所处的环境和生活状况，并记录下每一个特殊案例。不难想象，这种方法可以提供有关贫民生活的重要信息”。

831

1799年，拉姆福德在与协会的一名委员协商之后，创办了皇家

研究院，旨在“改进工业生产的方式和贫苦家庭的生活设施。”他很重视提高燃料的效率，打算展览“壁炉和厨房的改进模型以及供应暖气或新鲜空气的暖气管和气窗的模型，以便在家庭或公共场所都能节约食物和燃料”。

虽然皇家研究院后来的发展改变了初衷，但它的创建象征着有组织的人道主义和慈善事业的发展，这成了19世纪社会生活的显著特征。

受到穆尔爵士在肖克利夫的影响，人们已经注意到兵役法的改革问题。按照英国刑法的规定，大量的罪犯会被处以死刑。从1806年开始，罗米利爵士（Sir Samuel Romilly）着手改革英国的刑法。尽管他的努力在当时备受阻挠，但还是向广大公众证明了英国的刑法迫切需要修订，并最终得以实现。一般来说，个人的热情可促进慈善事业的发展和社会的改革，但以人性激发公众的爱心并让其有所行动就需要花费一定的时间了[1]。不论是在富裕家庭还是在贫困家庭中，死亡特别是儿童的死亡是常见的事。如果这发生在生活困苦的工人或矿工家庭中，生者将从当时流行的福音派信仰中得到安慰。福音派教义认为，苦难能帮助人的灵魂，尤其是穷人的灵魂升入天堂。1842年，通过了沙夫茨伯里伯爵（Lord Shaftesbury）的《矿工法》（*Mines Act*）。自1802年开始，还通过了一系列《工厂法》，有助于制止某些严重的虐待行为。

这些法规并没有涉及工厂以外的恶劣工作条件。胡德（Thomas Hood）是伦敦裁缝店和女帽店所雇用年轻女工的专职律师，《旁趣周刊》在1843年刊登了他匿名发表的一幅画《衬衫之歌》。这幅画毫不夸张地再现了一位被宫廷服装店雇用的名叫沃克利（Mary Anne Walkley）的20岁女工的死亡情景，法院陪审团裁定“死者死于中风，但是有充分理

1　在20世纪，人们对交通事故中出现的伤亡意外常常显得麻木不仁，在差不多的情况下，现在公众的爱心并不见得比从前更突出。

由可认定在拥挤的工作室里长时间工作、在密闭的通风条件很差的卧室里睡觉加速了她的死亡”。女裁缝的工作条件终于得到了改善，但这

不是法规的作用，而是因为从美国引进了能够进行批量生产的缝纫机。

新兴工业给人体健康带来了新的危害。斑疹伤寒在过去有各种名称，例如“工厂热”和“监狱热”等，但现在我们知道这是一种由虱子传染的疾病。一些职业病以前并不为人所知，例如设菲尔德的刀剪商的磨工气喘病和火柴行业中可怕的磷毒性颌骨坏死病，都造成了伤亡。工业制磷技术的改进，才使磷毒性颌骨坏死的患病率下降。19 世纪 90 年代，和贵格会教徒关系密切的奥尔布赖特 – 威尔逊公司（Albright & Wilson）成立了一个牙科诊所，对公司员工进行牙科常规治疗，以防治牙病。在纺织厂工作的女工和童工易患骨畸形症，这是不合理的纺织机设计造成的后果。另一方面，人们普遍认为威德尼斯地区大气中富含的氯离子给当地居民带来了健康体质，尽管盐酸挥发出的气体对植物有毁坏作用，同时还腐蚀了人的牙齿。

其他职业风险的预防主要依靠科学和技术的力量。戴维爵士（Sir Humphry Davy）力排众议，极力主张为矿工设计一种安全灯。为根除矿井内瓦斯所造成的危险，机械鼓风机被引入矿井以改进通风状况。由于采用原始的爆破方法，康沃尔郡锡矿频繁地发生严重爆炸事故。在人道主义的感召下，塔金米尔的比克福德（William Bickford）发明了安全导火线，并将这一发明赠予女婿史密斯（George Smith）和他的合伙人戴维（Thomas Davey），进而发展成全球都在采用的生产工艺。为了提高劳动条件的安全性，生产工艺和机器的日益改进使安全生产越来越有保障。例如，内史密斯（Nasmyth）在翻砂铸勺上安装简单的旋轮装置，从而减少了工人的烧伤事故，而旧设备常常是造成这种事故的原因。索尔福德的菲利普斯 – 李（Phillips & Lee）棉纺织厂改用了煤气灯，尽管这对工人有利也有弊——蜡烛引起火灾的危险减少了，但本已很长的工作时间又得继续延长。

除了能基于人道主义目的改善劳动安全条件外，技术还有助于摆脱工作的单调乏味。新的炼钢方法取代了搅铁水这项繁重活，自动加煤机减轻了人工加煤的负担，缝纫机在服装业的普遍应用极大地解放了众多疲惫不堪的工人。与此同时，这种平衡又部分地被新的繁重而危险的工作打破。正如克拉彭爵士（Sir John Clapham）所说："在佛斯桥的潜箱（压强不断增高）内或在悬臂梁上工作一小时，完全可以说，比在滑铁卢桥的伦尼（Rennie）手下干活更为艰苦。"[4]

英国于1802年颁布的《工厂法》限制了贫苦童工的工作时间，1819年的《工厂法》则把限制范围扩大到棉纺织厂中的所有童工。1850年的《工厂法》规定星期六下午2点停止工作，这是大多数工人向享有轻松周末的目标迈出的第一步。到1874年，大多数工厂中上日班工人的每周工作时间不超过56.5个小时。然而，轮班的工人和在《工厂法》规定范围以外的工人的工作时间，仍然大大超过上述规定。例如，布伦纳－蒙德公司早在1889年就已废除了所属化工厂工人的12小时换班制，但在第一次世界大战爆发前，工人每周84小时的工作时间仍很普遍，尤其是在钢铁工业中。

应该记住，繁荣总是间歇性的，在大多数年份里，很多行业总有一段时间由于活少而无所事事。出于社会公正的要求，国家通过立法缩短工作日。实际上，主要是由于技术发展才使缩短工作时间成为可能，技术发展也大量增加了工业国家的可分配财富。

英国在1880年已实施《雇主责任法》(*Employers' Liability Act*)，工人的劳动条件虽有所改善，但缺少工伤赔偿的立法保障。迟至1897年，才出台了工伤赔偿法。然而，早在60多年前，美国杜邦化学工业公司下属的埃兰特里工厂（duPont's Eleutherian Mill）就已向爆破事故造成的孤儿寡母发放抚恤金了。1884年，布伦纳－蒙德公司实行了一周带薪休假的制度，这是工业管理上一项非常先进的措施。尽管它的条件是严格遵守上班时间，但几乎所有具备合格条件的工人每年都能享受到带薪休假。

这些无疑也是收益，不过用今天的行话来说，其中一些是“附加福利”。实际工资怎么样呢？这是一个复杂的问题，技术上的难度使它始终是经济历史学家的专门研究对象。在各种因素中，地区的差异常使一般概括具有误导性，例如英格兰北部的工厂对劳动力的竞争比较激烈，因而农业工资有比南部高的趋势。此外，普遍雇用女工和童工，加上用实物支付工资，也把这个问题搅混了。因此，人们实际上不可能估算出每个家庭的实际收入。

然而，我们还是可以对工资问题作些大体概括。19世纪40年代，伍德沃德（Woodward）写道：“普通的以工资为生的受雇工人，他的生活比战争时期有所改善，而且在1815年后的大多数年份里，能比祖父和父亲两辈人在和平时期的生活还要好一些。不过，在新兴工业时期，他更容易失业，如果他属于1840年成千上万个手织机工中的一员，那么他的境遇会更差。”[5] 在1850年至1875年间，工资很难跟得上生活费用的上涨，但是“到1870年，绝大多数工人阶级家庭的生活水平绝对比1850年好，相对提高约10%”[6]。1850年以后，贫民人数减少，储蓄增加了。从1873年开始，物价下降得比工资快，所以那个时期工人的生活水准得到了稳步提高。

834

大多数实际工资赖以计算的基础——生活指数，已考虑到饮食标准的改善。这种改善部分地归因于哈索尔（Arthur Hassall）的分析工作，而哈索尔继续了不走运的阿库姆（Friedrich Accum）的工作。阿库姆于1820年写的《论食品的掺假及烹饪中的毒素》（*Treatise on the Adulteration of Food and Culinary Poisons*）遭到了强烈的反对，尤其是一些酿酒商对他恨之入骨。为躲避对他在皇家研究院任图书管理员时损毁图书的莫须有的指控，他被迫离开了英国。直到19世纪中期，不法奸商也没有因为在面包中掺入明矾、出售事先用硼酸处理过的臭熏肉、用铬酸铅或藤黄给糖果上色而受到惩罚。《柳叶刀》分析卫生委员会大胆地出版了哈索尔的调查报告，揭露了包括上述事实在内的大

量不法行为，这一委员会的工作导致英国于1860年颁布了《食品和饮料的反掺假法》(*Adulteration of Food and Drink Act*)。

在其他方面，劳动人民的生活条件也得到了改善。1853年取消了肥皂税后，英国每人每年肥皂的消耗量从1801年的3.6磅稳步上升到1861年的8磅，到1891年几乎又增加了一倍[7]。每个人甚至连最穷的人都穿上了棉衣。人们终于注意到卫生问题，供水设备改用了铸铁自来水总管，街道也比过去清洁了，并对污水进行了处理。不过，对防治霍乱流行需要制定的公共卫生条例一直到1848年才第一次在《法典》(*Statute Book*)中出现。

工人家庭开始添置家产。刀具、餐具和烹调用具生产得又多又便宜，可以预防无处不在的床虱的铁床架也变得普遍了。斯塔福德郡的陶瓷厂所生产的便宜的陶器装饰品，至今仍然没有失去吸引力。许多家庭有能力购买女王和她那热心于新技术的丈夫的闪亮的、上了釉的小雕像。新的印刷方法使通俗画的复制品进入了每个家庭，兰西尔(Landseer)创作的《高原牛》以沉思的眼光凝视着许多人家的前厅。

工作时间和工作负荷的改变，使人们在工作之余有了闲暇，煤气灯和随后在19世纪末使用的电灯使白昼变长了。上层社会的消遣相对地没有受到技术进步的影响，只有铁路使他们去乡间别墅有了更便捷的方式。然而，在工人和他们的家庭成员面前出现了崭新的生活方式。识字的人数增多，1870年，福斯特(Forster)的《初级教育法》(*Elementary Education Act*)规定在英国推行义务教育后，识字几乎已经普及了。1855年，英国取消了报纸的税收，紧接着在1861年又免去了纸张的关税。纽恩斯(Newnes)在1880年发行的《小马嚼》(*Tit Bits*)成为第一份群众性报刊。英国在1850年颁布的一项法令，规定只能在超过1万人以上的议员选区建立公共图书馆，1892年出台的新法令则取消了这种限制，1894年颁布的《地方政府法》(*Local Government Act*)更是使偏僻的农村教区也有可能建立公共图书馆。

到19世纪中期，英国底层社会道德观念发生了明显的变化。1852年，奥利维尔（Oliviera）先生在针对阻止拆毁水晶宫的一次集会上发表评论："要让大家都看清现在民众的品格和20年前相比的不同方面。众所周知，如果20年前允许其中某些不幸的人在公共场所集会，那就会发生酗酒、举止失控和行为出格等现象。"这些弊病仍然存在，但维多利亚女王倡导的节制饮酒、恪守礼仪、遵守法规的风气，已经对社会各层面的人都产生了影响。

1851年万国博览会推出了双层公共汽车和一日短途旅游，铁道部门还特价出售到伦敦的车票。维多利亚女王在1851年6月14日的日志中写道："差点忘记提起，12日上午我们会见了克罗赫斯特、林奇菲尔德和兰福德3个教区的全体居民共约800人，他们来自肯特和萨里。穿着长礼服的男士和他们漂亮的妻子成对地列队行走。他们似乎接受了牧师的建议，仅花了2先令6便士车费就来到伦敦观摩万国博览会。"从北部和中部的工业城镇到温德米尔和兰迪德诺的短途旅行已司空见惯，越来越重要的布莱克浦在1876年成为一个议员选区。18世纪的一些优美的海滨胜地，增设了许多大众化的海滨场所。一向是贵族享受的国外旅游，现在也向中产阶级敞开了大门，尽管没有人能确信国家之间的交往能产生更伟大的国际友谊。

836

34.8 技术与艺术

自由工业发展所带来的单调丑陋，使画家普遍产生了对现实的反感。这种觉醒使自18世纪以来就在艺术中存在着的令人遗憾的倾向更加明显，这种倾向认为只有在专科院校和沙龙里才有所谓的"高雅的艺术"。前拉斐尔时期的画家躲避在过去的幻想世界里，在那里他们可以忘却现时英国的煤烟和尘埃，从那里他们不时地现身出来为富裕的中产阶级画像，艺术变得脱离了生活。杰出的插图画家和广告画家采用了新的印刷和雕刻方法，以他们出色的工作能力来改变这种不正常

的状况。杜米埃（Daumier）、多雷（Doré）、克鲁克香克（Cruickshank）和熟练的“旁趣”艺术家画出了当代社会的场景，与此同时，土鲁斯-劳特累克（Toulouse-Lautrec）及其同代人在巴黎广告牌上的石印作品深得新一代人的喜爱。民众文化水平的提高，开创了广告普及的时代。

照相、摄影用的感光板的发明，以及塔尔伯特（Fox Talbot）等早期大师对摄影器材的运用自如，令人感到以风景画和人物肖像为业的画师似乎会被淘汰。用达盖尔银版法拍的照片打动了勃朗宁（Elizabeth Barrett Browning），她在1843年给米特福德（Mitford）小姐的信中写道："事实上，这个真实的人影永远不动地固定在那里！我认为，这是最圣洁的肖像。"事实证明，摄影术产生了有益的效果，它激励画家进行新的艺术创作。在法国，印象派画家试着像照相机一样，用光和色彩去捕捉在视网膜上一瞬间的影像，并把这种景象永久保存下来。摄影术兴起了脱离纯粹表现派的运动，对抽象设计的兴趣使绘画和雕塑艺术创作朝新的方向发展。

音乐家也感受到了机械发明对他们的冲击。18世纪末期开始生产的手摇风琴和1840年开始生产的簧风琴，使得哈代（Thomas Hardy）作品中描写的那种乡村教堂管弦乐队失去了作用，而且乐队给教堂和教区生活带来的合作感受也随之消失。从乡村和矿工铜管乐队演奏中得到的欢乐稍稍弥补了这方面的损失，当时已能生产这种音域更广、音调更准的铜管乐器。随着钢琴的大量生产，钢琴演奏成为中产阶级家庭音乐晚会中不可或缺的节目。但是，后来出现的留声机和收音机，很可能将这些业余音乐家的才华扼杀在萌芽状态。

如果把狄更斯（Dickens）、迪斯累里（Disraeli）、盖斯凯尔夫人（Mrs Gaskell）、艾略特（George Eliot）和其他一些人排除在外，那么19世纪的大多数小说家和画家一样，作品很少以工业为背景。爱丁堡煤气灯公司的主席司各特爵士（Sir Walter Scott）选择了写历史小说，特罗洛普（Trollope）和哈代作品中的人物都生活在农村小镇。出于同

样的缘故，萨克雷（Thackeray）宁可只写反映旧时代生活的作品。令人难以置信的是，奥斯汀（Jane Austen）和威尔斯（H. G. Wells）笔下的英格兰居然处在同一个世纪内。

这一时期的建筑模仿拜伦（Byron）和海涅（Heine）那种哥特式的浪漫主义风格。建筑师有意无意地规避工业化，在浪漫主义和新哥特式的宗教特征中寻求庇护，想象中世纪的质朴生活并从中得到启示。对神的敬畏以及对浪漫色彩的错误理解，使他们把工厂乔装成哥特式大教堂，把铁路站台装扮成中世纪的要塞。建筑师和室内装饰师无视建筑的耐用性，动用工厂的一切物力和人力，只求在工作完成时能将设计初衷隐藏起来。不过，有些建筑师和工程师很快就意识到使用新结构材料对原创作品的潜力。在布赖顿建造皇家博览馆时，纳什（Nash）大量采用了铸铁圆柱。博尔顿（Boulton）和瓦特（Watt）在索尔福德设计了一个7层楼的棉纺厂，这在1801年时是非常大胆的事。70年后，在努瓦西尔－苏尔－马恩的索尔尼尔（Saulnier）的巧克力工厂直接用铁构架来支撑负载。从这一系列事实中，人们可以预见到19世纪80年代芝加哥建筑师可能建造出钢结构的摩天大楼。巴黎方丹的自拍艺术家和英格兰帕克斯顿的水晶宫，都表明了设计师娴熟掌握了材料与形式的关系。

尽管有拉斯金（Ruskin）的方案和莫里斯（William Morris）的实践，艺术和生活在总体上仍固守着各自独立的领地。电铸版的创始人拉特瑙（Emil Rathenau）聘用贝伦斯（Peter Behrens）为建筑师，授权他处理从新车间到公司商标的所有设计。贝伦斯的学生格罗皮厄斯（Walter Gropius）在1919年创办了魏玛包豪斯（Bauhaus）建筑学院，在建筑史上开创了一个新时代。用格罗皮厄斯自己的话说，学院的建立是为了实现现代建筑艺术，“与人类的天性一样，建筑艺术应在其范围内充分拓展”[8]。包豪斯建筑学院的巨大贡献不仅在于将整个设计领域从工业革命之前的传统中解放出来，而且发挥出由建筑师掌控的技术进步所需的建筑材料和建筑方法的全部潜力。

34.9 政治趋势和哲学倾向

新机器时代最早出现的问题，是雇主与雇工之间不可调和的矛盾。虽然借口工业时代的到来破坏了主仆之间已经形成的默契关系是荒谬的，但农业社会发生的变迁确实带来了许多具有新特征的难题和紧张关系。曾是社会基本单位的家庭丧失了土地，农民被迫离乡背井。历经几个世纪形成的农民对乡土的眷恋之情，一时无法替代。在城镇中，人们再也找不到一度熟悉的在乡村和田地劳动时所形成的人际交往的感觉。过去在农村有点身份的人和手艺人，现在不情愿地和工场或制造厂里的几百号人一起干着重复的活儿。"归属感"在很大程度上被摧毁了，只在少数工厂中还能找到。例如在内史密斯在帕特里克罗夫特开设的铸造厂里，技术好的工人受到奖励，任何能完成本职工作的人都有机会加薪晋级。

尽管失业对手工织布工人来说是很严峻的问题，但机器时代面临的顽疾并非来自失业的直接冲击，而在于雇主无法认识到他们手下的工人不只是"干活的人"。勒德主义不过是一个局部问题，作为动产的工人争取比早年更好的工作条件，却给社会留下了不可磨灭的烙印，即使再多的家长式福利方案也无法消除。

20世纪，人们曾请工业心理学家来论证一个好的雇主天生应具备的素质——他必须善于使工人对自己工作的全部内容感兴趣，而且要激发工人树立对自己的伙伴（不论对雇主、同事，还是对整个集体）的责任感。在20世纪中期，自动化生产工艺应用的增多，再次凸显出同样的问题。人员调配和劳动力重新培训所引起的社会紧张关系构成了对工业的重大挑战，有的行业几乎没有纯粹的体力劳动，工人在精神上却过度紧张和疲劳，这一点也要予以充分重视。19世纪的雇主没有遭遇到机器对个体人格的挑战，因此很少把它当成需要关注的事项。

科尔（G. D. H. Cole）曾经不失公允地说："工业革命孕育出劳工运动。"[9] 在英国，在接受了工业化后，抗议"无农民"社会的宪章

 运动又对以后的一段巩固期采取了宽容态度，并未试图抵制作为一种制度的资本主义。19 世纪 80 年代，宪章运动最终转变为正统的社会主义。所有的工业国家都先后形成了工人阶级，提高自身社会和政治地位的共同愿望使他们团结在一起。

然而，在技术发展直接或间接引起的政治矛盾中，劳资间的对立并非最重要的。1848 年，宪章运动曾波及半数欧洲国家首都，肯宁顿会议的失败标志着宪章运动的结束。当宪章主义者推着 3 辆出租汽车，车顶上竖着全国人民请愿书向众议院请愿时，只不过是这次革命最后微弱闪烁的火花而已。可以这样解释当时的形势，欧洲大陆的革命运动得到了资本家的全力支持，英国的《1832 年改革法案》已认可中产阶级进入国家政府部门的要求。欧洲大陆牢牢掌握政权的统治阶级不仅受到对现状不满的工人阶级的指责，而且也受到从工业发展中富裕起来并极具势力的大学教授、银行家、商人和制造商等受过教育的中产阶级的指责，这种矛盾比劳资之间的直接冲突具有更深远的政治意义。后来，德国的自由主义衰落、民族主义抬头——这在普鲁士兴起的前几年就有了征兆——注定会产生可怕的后果。

自由和激进的思想也反对正统的宗教。在欧洲大陆，对宗教的批判主要在哲学界，从中产生了马克思（Marx）和恩格斯的“科学社会主义”。可是在英国，冲突更多地直接发生在科学与宗教之间，达尔文学说的争论使这种冲突达到了高潮。但是，这次科学与宗教的冲突并没有什么结果。如果说有什么新的值得注意的变化，那便是广大公众对科学产生了兴趣，虽然仍受到正统宗教势力的巨大影响，但他们已适应了科学和技术在他们日常生活中发挥的愈益重要的作用。

34.10 结论

本章试图对 1750—1900 年技术进步（progress of technology）引起的社会后果（social consequences）做些考察。能否从中得出什么结

论？正如功利主义（Utilitarianism）批评家会立即指出的那样，不论从定量还是定性上去估量欢乐与痛苦都存在内在的困难。在这个意义上，如果追问由于阿克赖特（Arkwright）水力纺纱机和瓦特蒸汽机的发明，人类的幸福总量是增多了还是减少了，那就是毫无意义的。

840

不过，指出人类幸福方面的某些得失（gains and losses）并无不妥。一方面得到的是大笔财富，另一方面失去的是从容的、节奏不变的乡村生活带给人的恬静心情。这种损失还包括乡村的美丽遭到了无可挽回的毁坏。至于边远地区的农村，尽管本身受到地理条件的限制，却因为有了铁路和改进了的公路，从而能接受比农村学校更好的教育，开阔了人们的思想。工业革命给许多不能适应技术变化（technical change）的人带来的是贫穷和痛苦，但给更多的人带来的是任何农业经济都无法达到的较高的生活水准。1750年以前的一段时期，工厂曾使工人陷于痛苦卑微的境地，女工和童工的处境尤为悲惨，公众的良知深受震动，最终纠正了其中某些不法行为（malpractices）。和工人没有直接接触的雇主对劳动者进行专横的剥削，其有益后果是促使创建了一个有组织的工人阶级，这一阶级固有的目标是改善他们的处境和保证他们在国家事务中享有代表权。阶级观念代替了严格的“阶层和等级”的等级制，每个人都知道自己是属于哪个阶级的并置身于本阶级里，这有助于出现一个新的更为稳定的社会结构。

提出技术革命对社会有利还是有弊这样的问题是不恰当的，而且这种提法没有抓住工业革命的核心特征——工业革命始终是权力变革（revolution in power）而不单是机器动力的革新问题。工业革命彻底改变了中产阶级的权力和劳动者的权力，还彻底改变了各个国家的经济力量和军事力量。权力（power）本身无所谓善恶，归根结底取决于掌权人的睿智或愚昧。如果承认这是一条自明之理，那么处于核能时代的人类就更不能忽视这条真理了。

相关文献

[1] Bucher, L. 'Kulturhistorische Skizzen aus der Industrieausstellung aller Völker', pp. 146 ff. Frankfurt a. M. 1851. (Quoted in S. Giedion. 'Space, Time, and Architecture', p. 259 n. Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1947.)

[2] Jackson, R. 'A Systematic View of the Formation, Discipline, and Economy of Armies', p. 262. London.1804.

[3] Hardie, D. W. F. "The Macintoshes and the Origins of the Chemical Industry" (Hurter Memorial Lecture). *J. Soc. Chem. Ind.*, 607, 1952.

[4] Clapham, Sir John (Harold). 'An Economic History of Modern Britain', Vol. 2, p. 447. University Press, Cambridge. 1932.

[5] Woodward, Sir Ernest (Llewellyn). 'The Age of Reform 1815–1870', p. 11. Clarendon Press, Oxford, 1938.

[6] *Idem. Ibid.*, p. 586。

[7] Wilson, C. E. 'The History of Unilever. A Study in Economic Growth and Social Change' (2 vols). Cassell, London. 1954.

[8] Gropius, W. 'The New Architecture and the Bauhaus' (Eng. trans. by P. M. Shand), p. 43. Faber, London. 1935.

[9] Cole, G. D. H. 'A Short History of the British Working Class Movement, 1789–1947' (rev. ed.) p. 3. Allen & Unwin, London. 1948.

第V卷期刊名称缩写

依照世界科学期刊名录建议的方式进行缩略

Agric. Hist.	Agricultural History. Agricultural History Society. Washington
Amer. Mach., Lond.	American Machinist;Magazine of Metal-working Production(Eúropean Edition). London
Amer. Mach., N. Y.	American Machinist;Magazine of Metal-working Production. New York
Ann. Chim.(Phys.)	Annales de Chimie(et de Physique). Paris
Arch. Sci. phys. nat.	Archives des Sciences physiques et naturelles. Geneva, Lausanne, Paris
Archit. Rev., Lond.	Architectural Review. London
Atlant. Mon.	Atlantic Monthly. Boston
Ber. dtsch. chem. Ges.	Bericht der Deutschen Chemischen Gesellschaft. Berlin
Bitumen, Berl.	Bitumen. Arbeitsgemeinschaft der Bitumenindustrie. Berlin
Bull. Ill. Engng Exp. Sta.	Bulletin. Illinois University Engineering Experimental Station. Urbana
Bull. Instn Metall.	Bulletin of the Institution of Metallurgists. London
Bull. Soc. Enc.Industr. nat.	Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale. Paris
Bull. Soc. industr. Mulhouse	Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse. Mulhouse
Bull. U. S. geol. Surv.	Bulletin of the United States Geological Survey. Washington
Business Hist. Rev.	Business History Review. Boston
C. R. Acad. Sci., Paris	Compte Rendu hebdomadaire des Séances de l'Académie des Sciences. Paris
Chem. & Ind.	Chemistry and Industry. Society of Chemical Industry. London
Civ. Engng, N. Y.	Civil Engineering;Magazine of engineered

	Construction. American Society of Civil Engineers. New York
Concr. constr. Engng	Concrete and Constructional Engineering, including prestressed Concrete. London
Dinglers J.	Dinglers polytechnisches Journal. Berlin
Dyer, Lond.	Dyer, Textile Printer, Bleacher, and Finisher. London
Econ. Geogr.	Economic Geography. Worcester, Mass.
Econ. Geol.	Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists. Urbana
Econ. J.	Economic Journal. Royal Economic Society. London
Edison Mon.	Edison Monthly. New York
Electrician	Electrician. London
Emp. Surv. Rev.	Empire Survey Review. London
Engineer, Lond.	Engineer. London
Engineering, Lond.	Engineering. London
Engng Insp.	Engineering Inspection. London
Fm & Home, Lond.	Farm and Home. London
Glass Ind.	Glass Industry;devoted to Glass Technology, Engineering, Materials and Glass Factory Equipment and Operation. New York
Ill. Lond. News	Illustrated London News. London
Impl. Mach. Rev.	Implement and Machinery Review. London
India Rubb. J.	India Rubber Journal. London
Ingenieur, 's Grav.	De Ingenieur. The Hague
Inst. Petrol. Rev.	Institute of Petroleum Review. London
Iron Age	Iron Age. Philadelphia
J. Buchdruck.	Journal für Buchdruckerkunst, Schriftgiesserei und die verwandte Fücher. Berlin
J. chem. Soc.	Journal of the Chemical Society. London
J. dom. Appl.	Journal of Domestic Appliances, Sewing and Washing Machines and Pram Gazette. London
J. Inst. Met.	Journal of the Institute of Metals. London
J. Inst. Navig.	Journal of the Institute of Navigation. London
J. Instn elect. Engrs	Journal of the Institution of Electrical Engineers. London
J. Instn Loco. Engrs	Journal of the Institution of Locomotive Engineers. London
J. Iron St. Inst.	Journal of the Iron and Steel Institute. London

J.phys. Chem.	Journal of Physical Chemistry. American Chemical Society. Washington
J. R. agric. Soc.	Journal of the Royal Agricultural Society(of England). London
J. R. Instn	Journal of the Royal Institution of Great Britain. London
J. R. sanit. Inst.	Journal of the Royal Sanitary Institute. London
J. R. Soc. Arts	Journal of the Royal Society of Arts. London
J. Soc. Arts	Journal of the Society ［afterwards Royal Society］ of Arts. London
J. Soc. chem. Ind., Lond.	Journal of the Society of Chemical Industry. London
J. Soc. Dy. Col.	Journal of the Society of Dyers and Colourists. Bradford
J. Soc. telegr. Engrs	Journal of the Society of Telegraph Engineers and Electricians. London
J. Text. Inst.(Proc.)	Journal of the Textile Institute ［containing Abstracts, Proceedings and Transactions］. Manchester
Liebigs Ann.	Liebigs Annalen der Chemie. Leipzig
Matières grasses	Les Matières grasses. Le Pétrole et ses Dérivés. Paris
Mber. preu β *. Akad. Wiss.*	Monatsberichte der Königlich-Preussischen Akademie der Wissenschaft zu Berlin. Berlin
Mém. Acad. R. Sci. Sav. étrang.	Mémoires présentés par divers Savants ［étrangers］ à l'Académie Royale des Sciences de l'Institut de France. Paris
Mem. Manchr. lit. phil. Soc.	Memoirs and Proceedings of the Manchester Literary and Philosophical Society. Manchester
Mem. R. Accad. Torino	Memorie della Reale Accademia delle Scienze di Torino. Turin
Metal Ind., Lond.	Metal Industry;Journal of non-ferrous Metals. London
Metals & Alloys	Metals and Alloys. Easton, Pa.
Min. Proc. Instn civ. Engrs	Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers. London
Murex Rev.	Murex Review. Murex Limited. Rainham
Nuovo Cim.	Nuovo Cimento. Società Italiana di Fisica. Bologna
Pharm. J.	Pharmaceutical Journal and Pharmacist. London

Phil. Mag.	Philosophical Magazine;a Journal of theoretical, experimental and applied Physics. London
Phil. Trans	Philosophical Transactions of the Royal Society. London
Print. Reg.	Printers' Register. London
Proc. Instn civ. Engrs	Proceedings of the Institution of Civil Engineers. London
Proc. Instn mech. Engrs, Lond.	Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. London
Proc. Instn Rly Sig. Engrs, Lond.	Proceedings of the Institution of Railway Signal Engineers. London
Proc. phil. Soc. Glasg.	Proceedings of the Philosophical Society of Glasgow. Glasgow
Proc. roy. Soc.	Proceedings of the Royal Society. London
Proc. Scottish Shipb. Ass.	Proceedings of the Scottish Shipbuilders' Association. Glasgow
Proc. Staffs. Iron St. Inst.	Proceedings of the Staffordshire Iron and Steel Institute. Dudley
Prof. Pap. Ordn. Surv., Lond.	Professional Papers. Ordnance Survey. London
Rep. Brit. Ass.	Report of the British Association for the Advancement of Science. London
Rep. Smithson. Instn	Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution. Washington
Research, Lond.	Research: a Journal of Science and its Applications in Industry. London
Rly Gaz., Lond.	Railway Gazette;a Journal of Management, Engineering and Operation. London
S. Afr. Surv. J.	South African Survey Journal. Cape Town
Schweiz. polyt. Z.	Schweizerische polytechnische Zeitschrift. Winterthur
Sci. Amer. Suppl.	Scientific American Supplement. New York
Science	Science. American Association for the Advancement of Science. Washington
Sheet Metal Ind.	Sheet Metal Industries. London
Struct. Engr	Structural Engineer. Institution of Structural Engineers. London
Tech. et. Civil.	Techniques et Civilisations. Saint-Germain-en-Laye
Text. Color.	Textile Colorist and Converter. Philadelphia
Text. Mfr, Manchr	Textile Manufacturer. Manchester

Text. Rec.	Textile Recorder. Manchester
Trans. Amer. Inst. min. (*metall.*) *Engrs*	Transactions of the American Institute of Mining (and Metallurgical) Engineers. New York
Trans. Camb. bibliogr. Soc.	Transactions of the Cambridge Bibliographical Society. Cambridge
Trans. Instn Engrs Shipb. Scot.	Transactions of the Institution of Engineers and Shipbuilders in Scotland. Glasgow
Trans. Instn Min. Metall.	Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy. London
Trans. Instn nav. Archit., Lond.	Transactions of the Institution of Naval Architects. London
Trans. Newcomen Soc.	Transactions. Newcomen Society for the Study of the History of Engineering and Technology. London
Wire & Wire Prod.	Wire and Wire Products;devoted to the production of Wire,Rod and Strip,Wire and Rod Products and insulated Wire and Cable. Wire Association. Stamford,Conn.
Wire Ind.	Wire Industry;the British Wire Journal. London

第V卷人名索引

以下数字为原著页码，本书边码

第V卷译后记

技术史与通史和思想史有着明显的区别，由于技术通常隐藏在设备和器具之中，技术史中的技术称谓往往指称实在的物。通过翻译为物定名，既要延续历史惯习，又要做到精准。在翻译和校订由查尔斯·辛格等主编的《技术史》这部鸿篇巨制时，力求精准就是一个不断完善的递进过程。

36年前，当我们6所理工大学和出版社发起翻译《技术史》的时候，限于人力和财力，只得决定先翻译第V卷、第Ⅵ卷和第Ⅶ卷，每卷又分上下册，各家分别分担一册的翻译出版工作。第V卷的第1—16章作为上册由东北工学院（现东北大学）技术与社会所诸同志翻译，第17—34章作为下册由哈尔滨工业大学的姜振寰教授组织哈尔滨工业大学诸同志翻译。当时的译校者署名，上册是：陈凡、吕强、石素英、刘晓萍、李玫玫、远航、陈奇志译，杨宗坤、梁英教校；下册是：王友仁、王培欣、孙学忠、张济、张敏、张宣平、赵学玉、赵振才、徐学渠、韩学勤、薛继学译，赵振才、陆干、姜振寰校。即便如此，仍历经10年才出齐了后3卷，也留下了许多遗憾。其间所饱尝的酸甜苦辣，只有当事者才能体味。

10年前，上海科技教育出版社到东北大学动议组织翻译《技术史》前七卷，我们把第V卷的上下册归为一卷，在原有工作的基础上由李兆友（第1—16章）、陈刚（第17—27章）、樊春华（第28—34

章）做了进一步的译校工作，最后由我们进行统校。

两年前，中国工人出版社到东北大学再次动议组织在国内首次出版《技术史》全八卷，包括索引卷，不惜花费人力、财力、物力，并且尽倾心力，延续一脉文香，既彰显了出版担当，又是书界一大盛事。

重新校译是递进过程中的一次带有较真味道的学术训练。本次校译工作主要对第Ⅴ卷进行了文字校正，对英文翻译歧义部分进行了敲定修改，对初审存疑部分进行了核对认定。校译工作主要由大连海事大学的孙宏利教授完成，我们进行了二次核对，旨在锦上添花，通过一点一滴的较真，对存疑之处逐一推敲，力图完美。

重新校译，尽管我们倾力而为、力求精准，但可以肯定的是，还存有错讹。不过，我们所做的只是递进过程中的片段，精彩华章自有后来者书写。

远德玉　丁云龙

2020 年 12 月 12 日